



### Уважаемые читатели!

В этом году журналу «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока» исполняется 10 лет. Все эти годы журнал развивался и на сегодняшний день является площадкой, на которой о своих научных достижениях заявляют вузовские ученые со всей территории России и ближнего зарубежья. Среди наших авторов есть работники высшей школы от Мурманска до Владивостока; от Кыргызстана и Монголии до Якутска и Петропавловска-Камчатского. Представленные в журнале материалы относятся ко всем ведущим транспортным отраслям. На страницах журнала встречаются железнодорожники и авиаторы, автодорожники и работники водного транспорта. Тематика журнала охватывает практически все области техники: управление, эксплуатацию, путевое хозяйство, обслуживание и ремонт, тепло- и электроэнергетическое обеспечение транспортных сооружений. Встречаются смелые гипотезы и разработки молодых ученых, порой вступающие в противоречие с традиционными взглядами научной общественности. От всего коллектива редакции журнала позвольте поблагодарить Вас за оказанное доверие, которым мы очень дорожим, и приглашаем Вас к дальнейшему сотрудничеству. До новых встреч на страницах Нашего журнала!

*Редакционная коллегия*

## УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Уважаемые коллеги!

Редакция журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока», приглашает Вас опубликовать результаты Ваших научных исследований в №2 журнала за 2012 год. Материалы (заявку, статью, рецензию) просим высылать ответственному секретарю журнала Коновалову В.В. по электронной почте: [konvalov@nsawt.ru](mailto:konvalov@nsawt.ru). Оригиналы по почте на адрес Академии с пометкой для Коновалова В.В. Прием материалов в очередной номер журнала заканчивается 25 октября 2012 г.

### Заявка на публикацию научной статьи в №2 журнала за 2012 год

	на русском языке	на английском языке
Название статьи (без каких-либо сокращений и символов)		
Аннотация (до 300 знаков)		
Ключевые слова (не более 10 слов)		
Организация (полное юридическое название и полный почтовый адрес)		
Автор(ы) (ФИО полностью, ученая степень, ученое звание, занимаемая должность)		
Координаты для обратной связи (ФИО полностью, адрес электронной почты, мобильный телефон*)		

\*-номер мобильного телефона необходим для оперативного решения возможных вопросов по поводу публикации и разглашению не подлежит

С условиями публикации ознакомлен(ы), представленный материал ранее не был опубликован, рецензию от компетентного по тематике статьи лица гарантируем.

Дата

Подпись(и)

Требования к представлению материалов:

- 1 Статья (оригинал) и ее электронная версия в формате MS WORD 2003 (объем 3-5 страниц А4, шрифт Arial размер 14, одинарный интервал, поля 2 см).
- 2 Заявка (оригинал) и ее электронная версия на публикацию научной статьи.
- 3 Заверенная рецензия (оригинал) и ее электронная копия (от компетентного по тематике статьи лица, с полным указанием ФИО, ученой степени, ученого звания, должности и почтового адреса организации).
- 4 Графический материал не подлежит правке при наборе (при выполнении рисунков поясняющий текст должен быть разборчив); размеры рисунка не более 15×15 см; глубина цвета – оттенки серого.
- 5 Ширина таблиц не более 15 см.
- 6 Все математические формулы и выражения должны быть набраны в специальном редакторе формул (MathType 6), шрифт Arial.
- 7 Ссылки на литературу выполняются сквозной нумерацией арабскими цифрами, в квадратных скобках в порядке указания. На каждый указанный в списке источник, должны быть ссылки в тексте статьи.

**Редколлегия оставляет за собой право литературной редакции содержания статьи без согласования с автором(и)**

С условиями публикации материалов можно ознакомиться у ответственного секретаря журнала Коновалова Валерия Владимировича, тел./факс (383)222-49-83, 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д. 33 (каб. 411). ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта» а также на интернет-странице по адресу: <http://www.nsawt.ru> в разделе «Издательство». Для аспирантов очного отделения публикация материалов в журнале – бесплатно, в порядке очередности и актуальности.

## **ПРОБЛЕМЫ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА СИБИРИ**

**ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»**

**В.П. Зачёсов**

**PROBLEMS OF THE WATER TRANSPORT OF SIBERIA**  
**«Novosibirsk state academy of water transport»**  
V.P. Zachjosov

The main operational and economic problems of a water transport in the territory of Siberia are considered.

*Keywords: development potential, factors of influence, problem*

Рассматриваются основные эксплуатационно-экономические проблемы водного транспорта на территории Сибири.

Долгосрочные интересы Российской Федерации определяют основную роль Сибири // под Сибирью следует понимать её энциклопедическое определение – часть азиатской территории России от Урала на западе до Охотского побережья на востоке и от берегов Северного Ледовитого океана на севере до границ с Казахстаном, Китаем и Монголией на юге // вследствие её географического положения и наличия значительного ресурсного потенциала.

В предлагаемой статье дается краткая характеристика современного состояния основной деятельности водного транспорта, сделана попытка определить основные направления перспективного развития этого вида транспорта, что, по нашему мнению, позволит реализовать программу транспортного обеспечения районов освоения природных ресурсов Сибири и интенсивного развития не только её хозяйственного комплекса, но и России в целом.

**Потенциал развития водного транспорта Сибири.** Сибирь занимает 65,5 % территории России. Её ресурсный потенциал достаточно полно характеризуется «Стратегией экономического развития Сибири» (утверждена Правительством РФ 7 июля 2002 года). Разведанные запасы нефти на этой территории составляют 77% российских запасов, природного газа – 85%, каменного угля – 80%, свинца – 85%, меди – 70%, цинка – 77%, золота – 41%, молибдена – 82%, и металлов платиновой группы – 99%.

В Сибири работают все виды транспорта: железнодорожный, водный, автомобильный, авиационный и трубопроводный. Однако в целом транспортная сеть развита слабо и значительно уступает среднероссийской по всем показателям. Большая часть добывающих полезных ископаемых и предметов их переработки относятся к массовым грузам и при перевозке, по роду известных причин, тяготеет к водному транспорту.

Водный транспорт Сибири представлен многочисленными разветвленными речными бассейнами (Западно-Сибирский, Восточно-Сибирский, Северо-Восточный, Амурский) и Северным морским путем (СМП), имеет большое стратегическое и социально-экономическое значение для России, является одним из основных элементов в решении социальных, экономических и внешне-политических задач, обеспечивающих базовые условия жизнедеятельности общества на этой территории, связывая между собой отдельные регионы, а в ряде районов этот вид транспорта является единственным для перевозки массовых грузов.

В России самая большая в мире сеть внутренних водных путей (общая протяженность 101,8 тыс. км) из них 68% приходится на азиатскую часть страны, это более чем в 3 раза превышает протяженность железных дорог и в 1,5 раза – протяженность автомобильных дорог с твердым покрытием в регионе.

Перевозки по внутренним водным путям значительно дешевле по сравнению с другими видами транспорта в расчете на единицу продукции. Удельные затраты на грузоперевозки здесь в 10 раз меньше, чем на автомобильном транспорте и в 25 раз – чем на воздушном транспорте. Речной флот способен перевозить крупногабаритные и тяжеловесные грузы на значительные расстояния, а пропускная способность магистральных водных путей практически неограниченна.

Изменение социально-экономических условий в стране в результате проведения рыночных реформ оказали существенное влияние на работу транспорта. В частности, водный транспорт утратил системные свойства, судоходные предприятия из государственных, в процессе акционирования и приватизации, были преобразованы в акционерные общества, работают обособлено, отсутствует общая взаимосвязь в целом и по отдельным бассейнам,

общий экономический спад привел к значительному сокращению объемов перевозок, старению материально-технической базы.

За минувшие 20 лет объем перевозок грузов в бассейнах Сибири сократился в 6 раз, а по отдельным судоходным компаниям – в 15 раз. Производительность сухогрузного флота упала в 2-3 раза, буксирного – в 1,5 раза. Основная причина состоит в том, что государственные бассейновые управления водных путей и судоходства из-за отсутствия должного финансирования практически прекратили поддерживать судоходные условия, на ряде участков снята освещаемая судоходная обстановка, и флот работает только в светлое время суток. Транспортный флот Сибири морально и физически устарел, свыше 70% его судов имеют срок службы более 20 лет. Использование изношенного флота приводит к увеличению эксплуатационных затрат и, следовательно, к снижению конкурентоспособности водного транспорта.

**Факторы, сдерживающие развитие водного транспорта Сибири.** Из анализа современного состояния водного транспорта Сибири очевидно, что дальнейшее развитие этого вида транспорта сдерживается целым рядом факторов объективного и субъективного характера. Основные из них следующие:

– низкая транспортная обеспеченность территории. Плотность путей сообщения на территории Сибири составляет 127 км/10 тыс. км<sup>2</sup> и представлена Транссибом, БАМом, АЯМом с их ответвлениями, реками Обь, Енисей, Лена и Амур с притоками, а также Северным Морским путем и автомобильными дорогами с твердым покрытием, проходящим в основном по южным районам региона. От работы транспорта целиком зависит жизнедеятельность на прилегающих к нему территориях. Железные, автомобильные дороги с твердым покрытием и Северный Морской путь располагаются в основном в широтном направлении Восток-Запад, речные пути – в меридиональном направлении Юг-Север;

– очаговое развитие производительных сил и низкая плотность населения. Отсутствие на территории региона единой транспортной системы сдерживает планомерное развитие производства и взаимоувязанное освоение природных ресурсов, которые используются как на внутреннем, так и на мировом рынке;

– плотность населения на территории Сибири составляет 2,3 чел/км<sup>2</sup>, а по отдельным районам значительно меньше (Республика Саха (Якутия) – 0,3 чел/км<sup>2</sup>), что более чем в 4 раза меньше, чем в целом по стране. В такой ситуации сложно говорить о полноценном развитии производства и обеспечении его трудовыми ресурсами этого производства;

– внутренние водные пути приходят в естественное состояние, уменьшаются габариты судовых ходов, ухудшается навигационное обслуживание в следствие отсутствия необходимых средств на путевые работы, падает провозная способность флота, растут удельные издержки на его содержание;

– рынок транспортных услуг пополнился множеством судоходных компаний, в том числе и маломощных, многие из которых не в состоянии обеспечить эффективность, безопасность и качество перевозок, созданная конкурентная среда в сложившейся ситуации не оказывает существенного влияния на развитие перевозок и качество обслуживания грузоотправителей;

– состояние транспортного флота по своим техническим и эксплуатационным параметрам подошло к критическому уровню. В ближайшие пять лет без пополнения и обновления действующий транспортный флот Сибири полностью выработает свой ресурс и должен быть заменен;

– современная структура транспортного флота не соответствует сложившейся структуре перевозок. Основной объем перевозок в бассейнах Сибири занимают сухогрузы (80,5%), а по номенклатуре в их составе – строительные (79%), перевозки которых эффективнее осуществлять в несамоходных судах. В восточных бассейнах в условиях транспортного дефицита большое значение приобретают малые реки, как транспортные пути в труднодоступные районы. Однако только 20% объема перевозок в пункты этих рек осуществляются в малотоннажном флоте, остальные перевозки из-за хронической нехватки специальных судов для малых рек выполняются в крупнотоннажных судах, непригодных для работы в стесненных условиях и на мелководье. В результате этот флот используется с неполной загрузкой, низкими скоростями движения, частыми поломками движительно-рулевого комплекса и корпуса судна и как следствие после работы этого флота на малых реках вынужден ставиться на ремонт в напряженный навигационный период.

Для работы в условиях Крайнего Севера с использованием Северного Морского Пути ощущается в Сибири недостаток судов «река-море» плавания, которые доказали свою эф-



фективность использования по сравнению с другими типами флота, в том числе и морского.

**Основные направления решения проблемы развития водного транспорта Сибири.**

Приоритетами при определении основных направлений решения проблемы развития водного транспорта Сибири являются развитие этого вида транспорта в составе общей транспортной инфраструктуры как основы сбалансированного социально-экономического развития Сибири как устойчивого субъекта Российской Федерации, интеграции в мировое экономическое пространство и улучшение инвестиционного климата сибирских регионов, а также снижение негативного влияния сложных природно-климатических условий и экономико-географического положения на социально-экономическое развитие Сибири, в том числе за счет использования водного транспорта.

Достижение намеченной цели планируется осуществить путем решения следующих основных задач:

- включение в хозяйственный оборот малоосвоенных районов Сибири с использованием внутреннего водного транспорта;
- освоение перевозок грузов для новых месторождений полезных ископаемых на вновь создаваемой транспортной сети на территории региона;
- обеспечение нормального хода процесса производства и потребления в районах Сибири с использованием речного транспорта;
- сокращение сезонности перевозок за счёт внедрения нетрадиционных видов транспорта;
- совершенствование системы материально-технического обеспечения путем оптимизации маршрутов грузоперевозок с участием речного транспорта;
- обоснование рациональных типов подвижного состава, новых транспортных средств для районов Крайнего Севера и малых рек;
- оптимизация транспортных процессов;
- совершенствование организационных структур управления.

Включение в хозяйственный оборот малоосвоенных районов Сибири возможно путем расширения судоходства по малым рекам. Всего на этой территории насчитывается 206 водных путей, отнесенных к малым рекам, которые по своим параметрам могли бы использоваться как транспортные пути с использованием имеющегося флота. Однако по ряду объективных причин в современных условиях для судоходства используется только 24% от их общего количества. Необходимо в ближайшее время в приоритетном порядке провести серию рекогносцировочных изысканий по неосвоенным малым рекам с целью организации судоходства.

В качестве перспективной задачи крупного масштаба выдвигается идея создания единой глубоководной субширотной водно-транспортной системы в азиатской части страны с выходом её на запад к Волге, а на восток к Амуру (Сибречпуть). Эта система позволит освоить речным транспортом мощный грузопоток в широтном направлении, будет способствовать развитию производительных сил вокруг этой магистрали.

Для развития экономики Сибири велико значение Северного Морского пути. В ближайшей перспективе его следует рассматривать в качестве главной коммуникации, которая обеспечит освоение ресурсов Заполярья, он способен взять на себя транспортировку добытых на шельфе полезных ископаемых. Согласно прогнозам экспертов грузооборот по Северному Морскому пути в ближайшей перспективе будет расти.

Поскольку единая транспортная сеть на территории Сибири ещё не создана, обеспечение нормального хода процесса производства и потребления в этом регионе с использованием речного транспорта рекомендуется обеспечить за счёт внедрения принципов логистики. Крупные речные порты Сибири способны взять на себя логистические функции, позволяющие экономить средства и время, поскольку логистика рассматривает различные виды транспорта, отправителей и получателей как единую систему, которая предполагает взаимодействие наземных и воднотранспортных коммуникаций, подвижного состава, складского и грузообработывающего хозяйства, налаживания совместных систем информации, контроля и управления товародвижением.

Учитывая растущий интерес международного сообщества к международным перевозкам в направлении азиатско – тихоокеанского региона и стран Евразии, можно рассматривать Россию в качестве транспортного моста между этими регионами. Поскольку речные пути являются единственными транспортными связями между коридорами Транссиб и СМП, появляется возможность организовать через магистральные водные пути Сибири междуна-

родные транспортные коридоры – «страны АТР-Транссиб-магистральные реки Сибири (Лена, Енисей, Обь)-СМП-страны Евразии». Это позволит решить стратегическую задачу речного транспорта Сибири – интегрирование внутренних водных путей в общую транспортную систему восточных районов и России в целом, выход на мировой уровень по техническим параметрам и качеству услуг. Это приведет к более интенсивному использованию рек Сибири и Крайнего Севера в транспортировке судами продукции из азиатской части России на мировой рынок и обратно.

Отсутствие финансовых возможностей у судоходных компаний Сибири не оставляет надежды на развитие и обновление материально-технической базы в ближайшей перспективе.

Мелким судоходным компаниям вообще невозможно поддерживать техническое состояние флота на необходимом уровне из-за недостаточного объема ремонтных работ, тем более на его обновление. Необходимо разработать действенный «механизм перехода» от индивидуальной работы судоходных компаний к интеграции предприятий водного транспорта, что даст возможность инвесторам координировать их деятельность. Следует признать, что период размежевания предприятий отрасли закончился, необходима их кооперация. Это может быть объединенная водотранспортная корпорация или холдинг, которые объединяют на добровольных началах все отраслевые предприятия бассейна, а учитывая тот факт, что даже крупные судоходные компании Сибири работают с рентабельностью до 10% нельзя обойтись без бюджетной поддержки государства.

В составе государственного регулирования работой водного транспорта Сибири можно рекомендовать представление отрасли на этой территории ряда преференций, необходимо в навигационный период создавать межведомственный координационный совет для координации взаимодействия субъектов по обеспечению доставки грузов, включая пропускные и провозные способности всех видов транспорта особенно при осуществлении северного завоза, работы флота на малых реках и в Заполярье, а также координации подробностей в инвестициях транспортного комплекса, имея ввиду создание резервных пропускных способностей.

Для судоходных компаний Сибири необходимо перевести завоз грузов на Крайний Север и в Заполярье на свободные тарифы, что позволило бы устанавливать соответствующий уровень амортизации на обновление флота. В большинстве бассейнов Сибири танкера не имеют второго дна. Экологические нормы требуют сделать танкерный флот двухкорпусным. Эту работу в сложившейся ситуации возможно выполнить только за счет бюджета, что позволит замедлить темпы старения и списания флота, то же относится и к пополнению новыми типами флота: лихтеровозные системы, нефтерудовозы, ледоколы, малотоннажный флот с осадкой менее 0,7 м, а также технический флот.

Упомянутые в тексте проблемы не являются исчерпывающими и касаются только некоторых аспектов эксплуатационной деятельности судоходных компаний в Восточных бассейнах. Развернутый перечень проблем предлагается рассмотреть в Стратегии развития водного транспорта Сибири с последующим обоснованием основных положений и детальной разработки в Программе развития водного транспорта Сибири до 2030 года. В подготовке этих материалов намерено принять участие ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта».

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** потенциал развития, факторы влияния, проблемы  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Зачёсов Венедикт Петрович, главный редактор журнала, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## **РЕКИ СИБИРИ В СОСТАВЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ**

**ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»**

**В.П. Зачёсов, И.А. Рагулин**

**THE RIVERS OF SIBERIA AS A PART OF THE INTERNATIONAL TRANSPORT CORRIDORS**

**«Novosibirsk state academy of water transport»**

**V.P. Zachjosov, I.A. Ragulin**

The possibility of incorporation of the rivers of Siberia in the system of international transport corridors «Asia-Pacific – Europe».

*Keywords: Trans-Siberian Railway, northern sea way, rivers of Siberia, transport corridors*

Рассматривается возможность встраивания рек Сибири в систему международных транспортных коридоров «Страны Азиатско-Тихоокеанского региона – Европа».

Долгосрочные интересы Российской Федерации, состоящие в создании современной экономики инновационного типа, интегрированной в евроазиатское экономическое пространство, определяют особую роль Сибири в силу ее географического положения и наличия значительного ресурсного, производственного, научно-технического и образовательного потенциала.

Для решения широкого спектра социальных, экономических, политических задач основным инструментом для государства признается транспорт.

Правительство Российской Федерации своим распоряжением 1734-р в ноябре 2008 года утвердило Транспортную стратегию Российской Федерации до 2030 года. Среди приоритетных направлений развития этой стратегии выделяется проблема интегрирования транспорта России в мировое транспортное пространство и реализацию транзитного потенциала страны через развитие технических и технологических параметров международных и внутренних транспортных коридоров, включающих крупные транспортные узлы. Для этого необходима выработка комплекса мероприятий по улучшению технических и технологических параметров транспортных коридоров, системное планирование их развития и согласование в рамках внутрисоюзного и международного сотрудничества.

В настоящее время в мировой торговле интенсивно развиваются евразийские торгово-экономические связи между странами АТР, Юго-Восточной Азии и Европы. Самые короткие по времени доставки товаров маршруты разных видов транспорта проходят по территории России и, в частности, по территории Сибири. Необходимо использовать сложившуюся в международном сообществе ситуацию для решения внутренних проблем путем организации на этой территории международных транспортных коридоров.

Предпосылки для решения этой проблемы на территории Сибири имеются. Определяющее значение в её решении оказывает Транссиб, проходящий через наиболее освоенные и населенные южные районы, и связывающий страны Западной Европы со странами Юго-Восточной Азии. Кроме этого по Северному Ледовитому океану вдоль побережья России проходит арктический коридор. Основу этого коридора образует Северный Морской Путь (СМП).

В настоящее время основными направлениями и странами, участвующими в перевозках грузов по Транссибу являются: Республика Корея-Финляндия, Эстония, Казахстан, Узбекистан, Афганистан, Норвегия, Литва; Япония-Финляндия, Афганистан, Монголия, Чехия; Китай-Украина, Эстония, Казахстан, Румыния. Использование Транссиба для осуществления транзитных перевозок из районов Тихоокеанского региона в Европу сокращает расстояние перевозки в 1,5-2,5 раза по сравнению с перевозками по южному направлению через Индийский океан и Суэцкий канал.

Таким образом, Транссиб в мировой торговле между странами АТР, Юго-Восточной Азии и Европы может сыграть важную роль при условии осуществления комплекса мероприятий по улучшению его технических и технологических параметров, ориентированных, в первую очередь, на доставку контейнеров.

Научно-технический Совет ОАО «РЖД» рассмотрел программу развития железнодорожных контейнерных перевозок с использованием Транссиба до 2015 года. Федеральное агентство железнодорожного транспорта эту программу поддержало.

Специалисты определили, что срок доставки грузов по Транссибу из Японии, Кореи и Китая в страны Европы не должен превышать 7 суток. При этом предполагается обеспечить маршрутную скорость движения контейнерных поездов по Транссибу с 2009 по 2015 гг. в пределах 1100-1500 км/сутки.

Экономические и политические соображения заставляют Россию и заинтересованные зарубежные страны Северных районов Америки и Европы рассматривать Северный морской путь в качестве международного транспортного коридора круглогодичного действия, способного существенно сократить доставку грузов между Америкой, Японией и Европой. По данным Министерства транспорта РФ, объем перевозок в Арктике по СМП увеличится к 2015 году в 10 раз по сравнению с 2005 годом и составит 10-12 млн. т.

Путь из Мурманска в Йокогаму через Суэцкий канал составляет около 13 тысяч миль, а по Северному Морскому пути порядка 6 тысяч миль, то есть практически в 2 раза короче.

Велико значение СМП также для развития экономики Сибири. В ближайшей перспективе его следует рассматривать в качестве главной коммуникации, которая обеспечит освоение ресурсов Ямала, Тимано-Печерской провинции, Таймыра. Кроме этого, наряду с растущим традиционным вывозом нефти и газа в западном направлении, появляется в перспективе необходимость экспорта углеводородов на Восток, в порты США.

СМП на протяжении около шести тысяч километров связывает в единую транспортную сеть Северные моря и крупнейшие реки Сибири: Иртыш, Обь, Енисей, Лену, Индигирку, Яну, Колыму, он может взять на себя транспортировку добытых на шельфе природных ресурсов.

Однако в течение последних 20 лет по различным причинам, прежде всего финансово-экономического характера на СМП не проводятся должным образом гидрологическая и ледовая разведка, нет полного метеопрогноза, порты испытывают дефицит в основной деятельности, навигационное оборудование практически снято. Если в 90-е годы прошлого столетия по СМП в течение навигации перевозили до 9 млн. т грузов, то в 2008 году объем грузовых перевозок сократился почти в 5 раз.

В то же время экономический интерес к СМП в мире огромен. В настоящее время относительно ритмично работает только западная часть, по которой вывозятся на европейские рынки в основном цветные металлы и углеводороды. В перспективе перед Россией встает задача превратить российский СМП в международную магистраль, которая должна составить конкуренцию трассам южных широт и сделать Россию важной транзитной страной. Задача крайне сложная, но выполнимая. Для реанимации восточной части СМП от Карских ворот до Берингова пролива, по расчетам экспертов, потребуется более 7 млрд. \$.

В этой ситуации при наличии двух транспортных коридоров «Восток-Запад» по новому оценивается роль внутреннего водного транспорта в хозяйственном развитии страны и мировом сообществе – речные пути становятся единственным средством связи между транспортными коридорами (Транссиб и СМП) в меридиональном направлении через магистральные водные пути Обь-Иртышского, Енисейского и Ленского бассейнов.

**Обь-Иртышский транспортный коридор.** В районе Алтайского края и Западного Китая в настоящее время не создана опорная сеть дорог, что осложнило доставку товаров в районы с ограниченным доступом. В этой связи представляется своевременным проект автомобильной дороги между Россией и Западным Китаем.

Составной частью Обь-Иртышского меридионального российского транспортного коридора является Чуйский автомобильный транспортный коридор: Новосибирск-Барнаул-Горно-Алтайск -Монголия-Китай. В случае положительного решения по осуществлению этого проекта от Федеральной дороги М52 Новосибирск-Бийск-Ташанта необходимо новое строительство ответвления от пос. Кош-Агач до перевала Канас (195 км) на Китайском участке границы Республики Алтай и 70 км от перевала Канас до действующей автомобильной трассы в районе оз. Канас на территории Алтайского округа, соседствующего с Синьцзян-Уйгурским автономным районом (СУАР) Китая.

У СУАР и России 54 км общей границы. В соответствии с проектом все направления от г. Новосибирска до г. Урумчи (КНР) протяженностью 1989 км включает следующие пункты: Новосибирск-Новоалтайск (209 км)- Горно-Алтайск (227 км) - Кош-Агач (454 км) -пер. Канас (граница, 195 км)-оз. Канас (84 км)-Синхулуки, Урумчи (830 км). Таким образом, 1075 км трассы Новосибирск-пер. Канас на границе с Китаем, из них новый участок дороги 195 км проходит по территории России и 914 км – по территории Китая [1].

Рассматриваемая трасса является важным фактором развития транспортных коммуникаций регионов Западной Сибири (Омской, Новосибирской, Томской, Кемеровской областей,



Алтайского края, Республики Алтай), регионов Центральной и Северо-Западной России, прежде всего Москвы и Московской области, Санкт-Петербурга и Ленинградской области, Уральского Федерального округа (Тюменской, Челябинской и Свердловской областей), а также Пермской и Самарской областей.

Таким образом, в случае реализации проекта Чуйский тракт будет обслуживать торговый транзит Западной Сибири, Урала и Европы в СУАР и далее в Центральный Китай, и к существенному грузопотоку на Монголию прибавиться грузопоток на Китай по количеству перевозок превышающей существующий более чем в два раза и сосредоточенный в Новосибирском мультимодальном транспорте узле.

Автодорожный транспортный комплекс предполагается использовать для продвижения из России товаров добывающих отраслей (минеральное сырье, уголь, металл, газ, нефть), перерабатывающей промышленности, машиностроения и другой высокотехнологичной продукции. Алтайский край кроме этого может поставлять в Китай продукцию животного происхождения, древесину, оборудование.

Китайская сторона предлагает для России полимерные материалы, пластмассовые изделия, строительные и керамические материалы, текстиль и другие товары.

Таким образом, выстраивается международный транспортный коридор с выходом из Китая: автомобильный транспорт-речной флот-железнодорожный транспорт-смешанные суда «река-море» плавания или морской транспорт с выходом на СМП и обратно в Китай.

В этой ситуации г. Новосибирск выступает в новом качестве и рассматривается как основной транспортно-информационный узел восточных регионов России и как база для формирования грузовых потоков в Обь-Иртышском меридиональном российском транспортном коридоре [2].

Перевозки грузов из Западного Китая в Россию и зарубежные страны Европы возможны по трем направлениям: автомобильным транспортом до Бийска, Барнаула или Новосибирска. При этом мелкопартионные грузы целесообразно отправлять через Бийский порт и частично Барнаульский. Массовые грузы, контейнеры – через Новосибирский порт.

По реке Обь от Бийска, Барнаула до Новосибирска на расстоянии 675 км перевозка грузов осуществляется в составах 300+1000 или 450+2×1000. От Новосибирска до устья реки Томи работают составы 600+4×1000, 600+2×2800. От устья реки Томи до Салехарда – составы 2000+4×2800 и 2000+6×2800. В Обской губе работают суда смешанного «река-море» плавания. Из Нового порта по СМП в Европу работают морские суда или суда смешанного «река-море» плавания.

**Енисейский транспортный коридор.** Значительный интерес для внутреннего и мирового рынка представляет территория Ангаро-Енисейского региона (АЕР).

Территория включает бассейн Енисея, частично рек бассейн Оби (Чулым и Кеть), рек Пясины и Хатанга, а также крупных притоков Енисея – Нижняя Тунгуска, Подкаменная Тунгуска и Ангара. В АЕР концентрируются богатые природные ресурсы: гидроэнергетические, каменного угля, руд цветных и чёрных металлов, магнезитов, солей и других полезных ископаемых. В регионе сосредоточены основные запасы хвойной древесины страны. В дореформенный период здесь добывалось более 80 млн. тонн угля, выпускалось около 2 млн. т алюминия, 1 млн. т глинозема, 1,5 млн. т целлюлозы, перерабатывалось около 30 млн. т нефти и заготовливалось 60 млн. м<sup>3</sup> древесины.

Таким образом, потенциал АЕР достаточно высокий. Основными действующими грузообразующими объектами региона являются Норильский промышленный район (производство цветного металла, и продукт попутной комплексной переработки полиметаллических руд), сырьё Нижнего Приангарья (алюминий, глинозем), месторождение Маймеча-Конгуйского района (апатитовый концентрат и фосфорные удобрения) лесопромышленный комплекс Красноярского края.

Значительная доля производимой в крае продукции пользуется существенным спросом в Финляндии, Франции, Германии, Швеции, Бельгии, Испании, Великобритании, Нидерландах, Норвегии.

Кроме этого такие крупные заводы как Братский, Иркутский, Саянский, Новокузнецкий вынуждены сегодня работать на дальнепривозном сырье из Павлодарского и Николаевского глиноземных заводов, а также из Австрии, Франции, Греции, Индии и других стран через порты Чёрного и Японского морей. Развитие глиноземного производства в Сибири должно рассматриваться в качестве одной из важнейших задач становления цветной металлургии страны. Поставка глинозема для сибирских заводов может рассматриваться через Дудинку,

Игарку и Лесосибирск по СМП с перегрузкой в речные суда. Потребность этих заводов составляет 5 млн. т в год.

Предполагается, что Маймеча-Конгуйский район в перспективе будет рассматриваться как основная апатитовая база страны. Добытая руда пойдет в район Норильска на переработку, а концентрат – в Лесосибирск для производства фосфорных удобрений. С освоением месторождений к 2015 году возникнут потоки грузов по системе «Енисей-СМП» по вывозу до 1,5 млн. т и по ввозу – до 500 тыс. т.

Реально рассматривать также поставки каменного угля из Кузбасса на экспорт в количестве 500 тыс. т по этой системе.

В соответствии с прогнозом формирования грузопотоков лесопромышленного комплекса АЕР для системы «Енисей-СМП» суммарный грузопоток к 2015 году составит 1,3-1,5 млн. т в год.

В Красноярском крае Ачинский НПЗ потребляется свыше 5 млн. т нефтепродуктов, поставляемых в основном из Западной Сибири. По прогнозам добычи нефти в зоне тяготения к системе «Енисей-СМП» (Эвенкийский и Туруханский районы) к 2015 году предполагается получить более 75 млн. т нефти и порядка 80,0 млрд. м<sup>3</sup> газа. На обустройство этих месторождений и вывоз сырья потребуются существенные перевозные способности речного флота.

Анализ развития производственных сил АЕР по основным отраслям его специализации показывает, что на транспортную систему «Енисей-СМП» может быть поставлено в 2015 году до 9 млн. т, а в 2020 году – до 11 млн. т сухогрузов и от 9 до 16 млн. т нефтепродуктов. При этом весь груз в основном будет отправляться в Западном направлении, и поступать в регионы также с запада. При хорошей организации грузопотоков есть возможность обеспечить загрузку судов, идущих как на Енисей, так и с Енисея [2].

**Ленский транспортный коридор.** В транспортной системе Дальневосточного экономического района существенное место занимает водный транспорт: речной – представлен крупнейшими водными путями по рекам Лене, Амуру и их притокам Алдану, Вилюю, Витиму, Зее и др., а также рекам Северо-Восточного побережья Арктики Яне, Индигирке, Оленек, Колыма, Анабар, Анадырь; морской – представлен морями Северного Ледовитого Океана и морями Тихоокеанского бассейна. Более 90% перевозки грузов в северные районы этого региона осуществляется водным транспортом.

Все основные реки имеют здесь преимущественно меридиональное направление и не всегда совпадают с направлением основных грузопотоков «Восток-Запад» тем не менее, они определяют будущую конфигурацию общей транспортной сети, выступают связующим звеном (река Лена) между Транссибом и Северным Морским путем, а также перспективными железнодорожными магистралями широтного направления.

После завершения строительства АЯМ речной транспорт не потеряет своего значения. Произойдет частичное перераспределение грузопотоков (ориентировочно наполовину) следующих в республику Саха (Якутия) через Осетровское направление. В то же время основные функции порта Осетрово передаются в Якутск, существенно меняется структура флота в пользу судов смешанного река-море плавания, которые в этом случае работают на участке Якутск-пункты Арктического побережья.

Три года назад на первом Байкальском форуме высказана идея создания меридионального транспортного коридора Китай-СМП в направлении: Махе (Китай)-Жилинда (Амурская область)-Сковородино-Тында-Якутск-порт Тикси-СМП-Европа.

Эту идею поддержали: Европейский транспортный союз, Сибирское отделение РАН, Институт региональной политики Саха (Якутия).

Что касается Амурского бассейна – это пограничная с Китаем транспортная коммуникация может рассматриваться как внутрироссийский и как часть международного транспортного коридора. Это прямой выход в Азиатско-Тихоокеанский регион, когда можно рассматривать основные направления: Тихоокеанские порты, Пекин (Китай), Улан-Батор (Монголия)-Улан-Удэ –Красноярск-Енисей-СМП-Европа или Улан-Удэ –Сковородино-Тында-Якутск-Тикси-СМП-Европа.

Во всех этих проектах реки Сибири выступают как часть международных транспортных коридоров с высокой пропускной способностью. В доперестроечный период по каждой магистральной реке Сибири осуществлялись перевозки различных грузов до 35-38 млн. т и этим не исчерпывалась их пропускная способность.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Куксин, А.И. Адаптация проекта организации прямого автомобильного сообщения между Сибирским Федеральным округом и Западным Китаем к современным экономическим и институциональным условиям /А.И. Куксин. -Новосибирск, 2006. - 57 с.

2 Комаров, К.Л. О стратегии транспортного освоения Сибири /К.Л. Комаров. -Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2003. -40 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Транссиб, северный морской путь, реки Сибири, транспортные коридоры  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Зачёсов Венедикт Петрович, главный редактор журнала, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** Рагулин Игорь Анатольевич, докт. техн. наук, профессор, ректор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА РЕГИОНА**

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**В.М. Бунеев, Е.О. Выдрина**

**THE METHODOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ANALYSIS AND ESTIMATION EFFICACY FUNCTIONING THE RIVER TRANSPORT OF REGION**

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.M. Buneev, E.O. Vydrina

In article stated foundation methodical regulations the analysis and estimation efficacy functioning the river transport of region.

*Keywords: river transport, region, functioning, efficacy*

Изложены основные методические положения анализа и оценки эффективности функционирования речного транспорта региона.

Методические особенности анализа и оценки эффективности функционирования речной транспортной системы региона обусловлены прежде всего тем, что транспорт является обслуживающей отраслью хозяйственного комплекса. Основное предназначение ее состоит в полном удовлетворении потребностей субъектов хозяйственной деятельности и населения в перевозках, обеспечении необходимых условий для размещения и развития производительных сил, повышения эффективности общественного производства и развития объектов социальной сферы, взаимодействия с другими элементами социально-экономической системы региона.

В свою очередь транспортный комплекс, как сложная управляемая система, состоит из подсистем (систем более низкого уровня) – видов транспорта. Каждый из них имеет отличительные особенности, преимущества и недостатки.

Существенный недостаток речного транспорта состоит в том, что его функционирование зависит от природно-климатических условий региона:

– сезонность работы, перевозка грузов и пассажиров осуществляется в навигационный (летний) период;

– естественное расположение водных путей ограничивает сферу использования речного транспорта, поскольку судоходные трассы не всегда соответствуют с направлениями грузовых и пассажирских потоков.

Методические положения анализа и оценки эффективности функционирования речного транспорта базируется на определенных методах, способах и приемах оценки влияния транспортного фактора на социально-экономическое развитие региона. Они определяют выбор методологических подходов и принципов решения исследуемой проблемы с помощью экономического анализа хозяйственных процессов. Важными элементами такого анализа являются системность и комплексность.

Принципы системного подхода требуют исследования объекта в качестве единого целого, единой системы, включающей другие, находящиеся в определенном взаимодействии соответствующие элементы. С позиций такого подхода, речной транспорт представляется как определенная сложная система. Элементами ее являются с одной стороны предприятия, организации и предприниматели независимо от организационно-правовой формы, а с другой объекты материально-технической базы.

Вся эта совокупность образует речную транспортную систему регионального уровня.

Сам же исследуемый объект, в свою очередь является частью другой более высокого уровня системы, где он взаимодействует с остальными подсистемами. В данном случае речной транспорт региона является элементом регионального транспортного комплекса и социально-экономической системы.

К основным принципам, на которых базируется экономический анализ и оценка относятся: изучение объекта в динамике; во взаимосвязи с другими элементами системы; в причинно-следственной соподчиненности. Известно, что причинно-следственные отношения подразделяются на функциональные (однозначные) и стохастические (вероятностные), а случайными никогда не бывают. Отсюда и методы экономического анализа и оценки выступают как детерминированные, которым присуща линейная связь, или как методы стохастические, которые способствуют выявлению вероятностной зависимости.

Итак, с позиций системности и комплексности исследования проблема анализа и оценки эффективности функционирования речного транспорта региона рассматривается как композиция, включающая определенный комплекс задач (рисунок). Решение начинается с формирования системы показателей анализа и оценки эффективности функционирования речного транспорта региона (первый этап исследования).

Система показателей представляет собой совокупность взаимоувязанных величин, всесторонне отображающих состояние и развитие транспортной отрасли, а также эффективность ее функционирования и степень влияния на развитие региона. К такой системе предъявляют высокие требования. Поэтому в предлагаемом алгоритме решения комплекса задач (рисунок) предусмотрен возврат к первому этапу исследования после завершения седьмого этапа для уточнения системы показателей и более полного анализа и объективной оценки экономических процессов.

Система показателей состоит из следующих групп: натуральные (технические), экономические, технико-экономические, стоимостные. А по другой классификации они подразделяются на стоимостные и натуральные, объемные и удельные. Для выполнения экономического анализа и оценки используются обе классификации, одна дополняет другую.



*Рисунок – Логическая последовательность решения задач анализа и оценки эффективности функционирования речного транспорта*



При формировании системы показателей за основу может быть принята система показателей оценки влияния речного транспорта на развитие региона, предложенная в работе [1]. Ее необходимо расширить и дополнить показателями бюджетной и экономической эффективности, а также учитывающими влиянием рыночных факторов на результаты анализа и оценки.

После завершения процесса формирования системы показателей осуществляется переход к процедуре непосредственного анализа и оценки эффективности функционирования речного транспорта региона (со второго по седьмой этапы исследования). Здесь выявляются, прежде всего, размеры и динамика отклонения показателей, отражающих состояние экономической системы. Наиболее приемлемым способом оценки является сравнение, которое широко применяется в экономическом анализе. Сравнение с базовыми значениями позволяет установить степень отклонения принятых для анализа показателей, а сравнение их динамики – протекание хозяйственных процессов. Могут быть использованы и другие традиционные способы и приемы анализа (сравнение относительных и средних величин, группировки, балансовый и т.д.).

На втором этапе исследования устанавливаются местоположение основных производств на территории, транспортные связи между ними, доминирующие отрасли и предприятия, их вклад в развитие хозяйственного комплекса, ВВП региона, состояние объектов социальной сферы, экологические проблемы и т.д. На основе полученных данных делается вывод о возможных перспективах развития региона, стратегии и основных направлений.

На следующем этапе устанавливаются общие тенденции и закономерности функционирования речного транспорта в обслуживании региона. Основой для этого, как и на предыдущем этапе являются обобщающие показатели уровня социально-экономического развития: стоимость транспортной продукции в ВВП региона, себестоимость транспортных услуг, производительность труда, размер инвестиции в развитие речного транспорта и протяженность эксплуатируемых путей сообщения. Все эти показатели анализируются в сопоставлении с другими видами транспорта, функционирующими в границах исследуемого региона.

В дальнейшем оцениваются возможности хозяйствующих субъектов речного транспорта по выполнению транспортных услуг. Для этого на основе анализа показателей перевозок грузов и пассажиров, наличия судов на балансе и других технических средств определяется перечень наиболее крупных судоходных компаний, фирм и других предприятий речного транспорта. Их вклад в формировании предложения на рынке транспортных услуг региона решающий.

Здесь же изучается структура перевозок, устанавливается динамика развития грузовых и пассажирских потоков на современном этапе. анализируется структура основных производственных фондов и эффективность их использования. Больше внимание уделяется транспортному флоту, анализируются эксплуатационные показатели его работы.

Провозная способность в тонно-километрах флота каждой судоходной компании

$$П = \bar{P}'_e \sum \bar{Q}_p \bar{t}_s,$$

где  $\bar{P}'_e$  – среднее значение валовой производительности тоннажа, т·км/(т·жесут);

$\sum \bar{Q}_p \bar{t}_s$  – средненавигационное наличие флота в тоннаже-сутках эксплуатации.

Итоговая величина провозной способности всех субъектов хозяйственной деятельности определяется как сумма с учетом возможного вклада мелких операторов рынка. Аналогичным способом определяются возможности речного транспорта в пассажирских перевозках.

Сопоставляя полученные результаты с потребностями региона в перевозках грузов и пассажиров (спрос на рынке транспортных услуг) можно судить о степени их удовлетворения, уровне и качестве транспортного обслуживания.

На следующем этапе анализируются финансовые результаты производственно-хозяйственной и коммерческой деятельности, качества и рентабельности транспортных услуг. Основными анализируемыми показателями являются: расходы, доходы, прибыль (убытки) и уровень рентабельности, устанавливается величина налоговых отчислений и вклад в формирование бюджетов разных уровней. Кроме того, определенное внимание уделяется оценке качества транспортных услуг [2].

При реализации региональных экономических проектов нередко используется речной транспорт для доставки строительных материалов, оборудования и других необходимых грузов. Поэтому на шестом этапе предусмотрен анализ эффективности использования реч-

ного транспорта в таких проектах. Они, как правило, направлены на освоение новых территорий, где транспортная сеть развита слабо и основная нагрузка ложится на внутренние водные пути. Кроме обобщающих показателей социально-экономического развития для анализа привлекаются показатели бюджетной и экономической эффективности, оценивается уровень коммерческой эффективности судоходных компаний и фирм.

Цикл задач со второго по седьмой этапы завершается оценкой влияния речного транспорта на социально-экономическое развитие региона на основе всех полученных данных анализа и оценки эффективности. Делаются соответствующие выводы о роли и значении речного транспорта для региона, выявляются негативные явления и тенденции, ограничивающие сферу деятельности и снижающие эффективности функционирования речной транспортной системы в составе регионального транспортного комплекса.

Все это учитывается при выполнении завершающего этапа, где разрабатываются основные направления повышения эффективности исследуемой системы.

Конкретные предложения и рекомендации разрабатываются в рамках соответствующих научных исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бунеев, В.М. Система показателей оценки влияния речного транспорта на развитие региона / В.М. Бунеев, О.В. Фисик // Философия и экология: сб. тез. и материалов межвуз. науч. конф. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2004. -С. 161-164.

2 Выдрина, Е.О. Роль грузовых перевозок водным транспортом и методы их оценки в инновационном развитии региона / Е.О. Выдрина // Инновации для транспорта: сб. науч. ст. / ОмГУПС. -Омск, 2011. -Ч.3. -С. 146-149.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *речной транспорт, регион, функционирование, эффективность*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Бунеев Виктор Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГавт»*

*Выдрина Евгения Олеговна, аспирант ФБОУ ВПО «НГавт»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГавт»*

## **ИНТЕГРАЦИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ МОНГОЛИИ В МИРОВУЮ ТРАНСПОРТНУЮ СИСТЕМУ**

**ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»**

**АО «Улан-Баторская железная дорога»**

**Д.В. Железнов, И.А. Домбровский**

### **INTEGRATION OF MONGOLIAN RAILWAYS IN THE WORLD TRANSPORT SYSTEM**

**«Irkutsk state university of means of communication»**

**Joint-stock company «Ulan Bator railway»**

**D.V. Zheleznov, I.A. Dombrowskiy**

The purpose of the study is based on systems analysis problems of development of the economy of Mongolia and its transport subsystem and justify the choice of development strategy of railway transport, which will, as soon as possible and with the highest public effectively integrate into the world transport system. Considered variants of mastering mineral resources and options for their transportation to external markets. Demonstrated the need to integrate the railways of Mongolia in a single network.

*Keywords: Mongolia, a regional transport system, the construction of new railway lines, transportation, contract terms*

На основе системного анализа проблем развития экономики Монголии и её транспортной подсистемы научно обоснован выбор стратегии развития железнодорожного транспорта, реализация которого, позволит в кратчайшие сроки и с наивысшей общественной эффективностью интегрироваться в мировую транспортную систему. Рассмотрены варианты освоения минеральных ресурсов страны и схемы их транспортировки на внешние рынки. Доказана необходимость объединения железных дорог Монголии в единую сеть.

По территории Монголии проходит кратчайший железнодорожный маршрут, соединяющий Россию и районы центрального и юго-восточного Китая. Выгодное географическое положение страны создаёт предпосылки для успешной интеграции мировой и региональной транспортных систем.

Мировое сообщество проявляет интерес к проблемам развития транспортной системы Монголии. Например, в трёхстороннем меморандуме о взаимопонимании между ОАО «РЖД» и железнодорожными властями Монголии и Южной Кореи [1] представлены предложения и идеи по развитию сотрудничества и партнерства в таких областях, как: ис-

пользование контейнерных маршрутных поездов между Европой и Азией через Монголию; обеспечение экспорта минерального сырья в страны Европы, Азии; развитие в Монголии транспортной инфраструктуры для перевозок минерального сырья.

После того, как начали вскрывать богатые минеральные залежи Монголии, внимание к этой стране серьёзно усилилось [2]. Перспективы существенно повысили её статус в глазах мирового экономического сообщества, и особенно для Китая, который испытывает потребность в сырье для своей динамично развивающейся экономики.

Экономическая деятельность в Монголии ограничивается традиционными видами. Прежде всего, это добыча полезных ископаемых, сельское хозяйство и животноводство, на долю которых приходится основная часть объёмов производства. Крупнейшим экономическим сектором является горная промышленность, на долю которой приходится более половины валового внутреннего продукта. Основными ресурсами являются медь, уголь, железная руда и золото. Так, в общем объеме экспорта 2011 года доля горнорудной продукции составила 88%, из которых 45,3% – экспорт угля. После открытия крупных месторождений полезных ископаемых уместно говорить о планировании и создании транспортных связей, которые будут содействовать доставке минерального сырья в страны потребления.

Животноводство является второй по значимости отраслью Монголии. Однако, она в значительной степени подвержена воздействию внешних факторов, наиболее существенные из которых суровые погодные условия и заболеваемость. Необходима реализация комплекса мер по защите поголовья скота, включая создание современных животноводческих ферм и улучшение уровня его ветеринарно-санитарного обеспечения. Их реализация поможет стране диверсифицировать экспортные рынки, прежде всего Китай, Северную и Юго-Восточную Азию [3].

Необходимость диверсификации на мировые рынки монгольских минеральных ресурсов значительно повышает риски, снижая привлекательность страны для инвесторов. Никто в мировом сообществе не ждёт Монгольские товары. Конечно, есть силы, заинтересованные в увеличении доли монгольских ресурсов на рынках угля, меди, медных концентратов и т.д., но, в то же время, имеется и значительная оппозиция. Противники будут открыто (немногие) и скрытно (большинство) мешать продвижению монгольских товаров, оказывая противодействие. Путь развития в такой ситуации один: добыча полезных ископаемых, их обогащение, переработка (с постепенным возрастанием глубины) с последующей транспортировкой. При реализации такого сценария никто не сможет препятствовать постепенному наращиванию экономической мощи государства. Усиление экономики Монголии вряд ли будет поощряться руководством Китая, которое традиционно рассматривает сопредельное государство как кладовую полезных ископаемых. Ориентироваться во внешней торговле следует на высоко развитые экономики Японии и Южной Кореи, испытывающие дефицит минеральных ресурсов.

Монгольское правительство стремится расширить внутреннюю транспортную сеть посредством строительства новых автомобильных дорог, в том числе и в отдалённых регионах. Существуют и постепенно реализуются проекты по развитию сетей связи и энергоснабжения. Это критически важно для Монголии из-за низкой плотности заселения её огромных территорий.

Сегодня на долю АО «Улан-Баторская железная дорога» (УБЖД) приходится 90% грузооборота и 47% пассажирооборота Монголии. Около 70% населения Монголии проживают в регионах, соединенных железнодорожными линиями. Оператор перевозок – АО «УБЖД», акционерное общество с равными долями участников в уставном капитале с российской и монгольской стороны. Компания играет ключевую роль в обеспечении транспортных связей Монголии.

Цель исследования – на основе системного анализа проблем развития экономики Монголии и его транспортной подсистемы научно обосновать выбор стратегии развития железнодорожного транспорта, реализация которой, позволит в кратчайшие сроки и с наивысшей общественной эффективностью интегрироваться в мировую транспортную систему.

Возможны два пути: эволюционный, то есть постепенное наращивание мощности региональной транспортной системы и приведение её параметров к требованиям мирового рынка транспортных услуг (опираясь на внутренние ресурсы государства), или же революционный (проектируя систему с новейшими параметрами и возможностями), используя при финансировании внешние источники – займы и кредиты.

Для правильного ответа необходимо выполнить оценку как сроков достижения целей

программ развития (эволюционной и революционной), так и параметры окупаемости затрат. Очень важно правильно расставить акценты при модернизации транспортной системы Монголии: что важнее транзит или обеспечения экспорта минеральных ресурсов. Ведь в первом случае надо усиливать пропускную способность главного меридионального хода, а во втором важнее обеспечить транспортную доступность месторождений. Нельзя пренебрегать и задачей повышения качества транспортных связей между центральными и удалёнными регионами страны.

Надёжная и эффективная работа транспортного комплекса позволяет обеспечивать территориальное и экономическое единство любой страны, развитие и углубление межрегиональных связей, формирование полноценного внутреннего рынка и освоение природных богатств. Интенсивное использование своей транспортной системы для осуществления перевозок грузов внешней торговли повышает общеэкономическую конкурентоспособность государства и является для страны важнейшим источником увеличения экономических ресурсов и усиления геополитического влияния. Транспортная составляющая может являться инструментом противодействия установлению глобального контроля со стороны иных государств и их союзов, а также в целом влиять на развитие геополитической ситуации в регионе. Транспортные связи при этом служат одним из ключевых методов воздействия.

Говоря о транзитном потенциале страны и интеграции в международную транспортную сеть можно отметить, что геополитическое положение России и Монголии, а также единая техническая база железных дорог позволяют претендовать на важную роль в мировой экономической системе в качестве транспортного моста между основными макроэкономическими полюсами – странами Европейского союза и Азиатско-Тихоокеанского региона.

Использование Транссибирской магистрали позволит в дополнение к возможному маршруту транспортировки монгольского сырья на экспорт в Китай обеспечить его экспорт в Японию, Южную Корею и другие страны через российские порты Дальнего Востока, а также в перспективе через развивающийся северокорейский порт Раджин. Тем самым монгольские грузы получат надёжный выход к морским портам, а железные дороги Монголии стабильный прирост грузовой базы.

Стратегические перспективы развития железнодорожной инфраструктуры Монголии в значительной степени обуславливаются наличием экспортной грузовой базы, в частности, развитием горнодобывающей отрасли страны. Это не только расширение, реконструкция, модернизация действующих инфраструктурных комплексов, но и реализация крупномасштабных проектов, обеспечивающих добычу и разработку новых месторождений полезных ископаемых Монголии с дальнейшим вывозом продукции. И здесь обязательным условием видится создание предпосылок для многовариантной корреспонденции сбыта монгольской продукции на мировые рынки. Именно с этой целью требуется как развитие существующей инфраструктуры Улан-Баторской железной дороги, так и строительство новых линий, к ней примыкающих. В настоящее время проработан проект комплексного развития инфраструктуры участка Баянтумэн-Эрэнцав и строительства новой линии Баянтумэн-Сайншанд.

После принятия 24.07.2010 г. Великим Государственным Хуралом Государственной политики в области железнодорожного транспорта ОАО «РЖД» заявило о своей готовности приступить к строительству железной дороги Таван-Толгой-Чойболсан и обратилось к правительству Монголии о выдаче необходимых разрешений и лицензий. К сожалению, этого сделано не было. В результате для строительных работ был потерян не только 2010 но и 2011 год. Выделенные ОАО «РЖД» финансовые средства в объеме 7 млрд. руб. так и остались неосвоенные. Несмотря на это ОАО «РЖД» и созданная с его участием КОО «Развитие инфраструктуры» и сейчас подтверждают свою готовность приступить к строительству новой железной дороги в Монголии.

Сотрудничество между железными дорогами России и Монголии станет первым шагом к созданию развернутой сети железных дорог Монголии, обеспечивающей максимально широкий охват территории страны, а также доступ к перспективным месторождениям полезных ископаемых.

Реализация намеченных планов по развитию железных дорог Монголии окажет существенное влияние на социально-экономическое развитие страны. В результате в Монголии будет создан мощный современный промышленный комплекс, обеспечивающий экономический суверенитет страны. Будет обеспечено интенсивное развитие Улан-Баторской железной дороги как важнейшей транзитной артерии и канала внешнеторговых перевозок, реализованы стратегические преимущества страны, а также сформированы долговременные по-



требности в высококвалифицированных кадрах, что автоматически предоставляет гарантии профессиональных перспектив гражданам Монголии.

Что касается модернизации подвижного состава, то происходит его поэтапное обновление. Так в 2011 г. по контракту с ЗАО «Трансмашхолдинг» на Улан-Баторскую дорогу были поставлены и введены в эксплуатацию 30 тепловозов 2ТЭ116УМ и 7 маневровых локомотивов ТЭМ18ДМ [4]. Кроме того, на территории Монголии должны появиться сервисные центры для обслуживания и ремонта поставляемой техники.

Принципиально важно правильно решить задачу выбора оптимального варианта экспорта монгольских минеральных ресурсов на мировой рынок. Для её решения предлагается следующая постановка: необходимо выбрать вариант, приносящий наивысший доход государству. Подразумевается, что государство получает максимум доходов через налоговую систему и участие в уставном капитале совместных предприятий и акционерных обществ. Говоря иначе, чем больше совокупный доход всех монгольских предприятий, любых форм собственности, участвующих в реализации проекта, тем больше совокупный доход государства. При этом возникает синергетический эффект: создаётся наибольшее число рабочих мест, тем самым сокращается безработица через рост занятости.

Рассматривая возможные варианты сценария организации транспортировки экспортных Монголией минеральных ресурсов очевидны три конкурентоспособных схемы: на Ванино, на Владивосток, на Тяньцзинь (через Эран-Хото).

При этом доходы предприятий Монголии можно увеличивать, принимая на себя обязательства по экспедированию груза. Очевидно, что по мере продвижения товара от потребителя к покупателю стоимость его будет возрастать. Например, цена минеральных ресурсов в порту Тяньцзинь (контракты на условиях FOB в терминологии ИНКОТЕРМС 2000 [5]), будет включать в себя, помимо отпускной цены горнодобывающего предприятия, также стоимость транспортировки, расходы на пересечение границы (таможенные пошлины, перевалка, и прочее), затраты на выгрузку и сборов за хранение в порту. При анализе транспортных расходов легко выделяются два компонента: оплата работы Монгольских и китайских железнодорожников. Далее, зная объёмы планируемого экспорта, можно рассчитать суммарный доход всех участников с Монгольской стороны.

При заключении экспортных контрактов возможны четыре принципиальных подхода (E, F, C и D) [5]. Наиболее простой вариант – контракт EXW [5], в этом случае товар продаётся на складе изготовителя. В случае горнодобывающего предприятия – непосредственно в штабеле подготовленной к отгрузке горной породы. В этом случае доход государства минимальный. Именно этот сценарий предлагает Китай при строительстве собственной железнодорожной ветви колеи 1435 мм. Для Китая это самый лучший вариант, при котором Китайское предприятие зарабатывает на погрузке и транспортировке, нет перевалки, что существенно снижает конечную стоимость. Для Монголии такой сценарий может представлять интерес только когда все остальные рынки будут закрыты для Монгольских ресурсов.

Необходимо развивать внешнеторговую деятельность посредством применения контрактов более сложных форм, предельная из которых – DDP [5], в случае его применения стоимость груза в пункте назначения включает в себя оплату погрузки, перевозки, выгрузки, оформления экспорта и импорта (пошлины), расходы на страхование груза.

При определении суммарных доходов по транспортировке на Тяньцзинь (КНР) необходимо исключить вариант транспортировки без участия АО «Улан-Баторская железная дорога», а из вариантов контрактов ставку сделать на DDP.

Аналогично следует выполнить расчёты по двум другим схемам. В одном случае продукция передаётся получателю в порту Ванино (на причале), в другом – в Находке (на причале). Цена второго и третьего вариантов будет отличаться незначительно, при первом же будет заметно ниже.

Если Монголия ставит целью выдавливание с ресурсного рынка доля кого-то из конкурентов, то, конечно, она заинтересована именно в первом варианте. При этом национальное достояние (минеральные ресурсы продаются достаточно дешево).

Четвёртый и пятый варианты: транспортировка в порты Дальнего Востока, соответственно, Ванино и Находка, через Соловьёвск (Россия). В этом случае Монголия имеет самое длинное плечо транспортировки по своей территории, что является стратегически самым верным решением. В реализации такого сценария в наибольшей степени заинтересована и российская сторона. Причиной является тот факт, что продвижение грузопотоков будет происходить по тем сегментам сети Российских железных дорог, которые испытывают серьёз-

ные проблемы с загрузкой. Например, на участке от Соловьёвска до Борзи работы практически нет, железная дорога выполняет только социальную функцию, хотя техническое состояние участка вполне удовлетворительное (в 2008 г. участок капитально отремонтирован). От Борзи до Карымской рассматриваемый поток вливается в струи с преобладанием порожних вагонопотоков. Станция Карымская, самая перегруженная на Транссибе, остаётся западнее. Переход на электрическую тягу может быть осуществлён по станции Оловянная, при этом возможно изменение круга обращения локомотивов, с продлением его до этой станции. Размен локомотивов разных кругов обращения может быть осуществлён непосредственно по станции Тарская. Участок от станции Тарская до станции Бамовская имеет значительные резервы пропускной способности. Смена вида тяги происходит непосредственно по Бамовской, что позволяет обойти перегруженную станцию Сковородино. После смены тяги поток продвигается на станцию Тында, от которой направляется на Комсомольск и далее на Ванино. Несколько сложнее продвижение в сторону Находки. В этом случае на плече от Сковородино непосредственно до порта поток вливается в достаточно мощную струю экспортных грузов. Что может вызвать ограничения по объёму согласованных перевозок.

Основной покупатель ресурсов не Китай, а Япония и Южная Корея. Высокоразвитые экономики этих стран испытывают острый дефицит минеральных ресурсов, поэтому тоже будут поддерживать эту схему.

Сравнивая схемы транспортировки через Наушки (Россия) и Соловьёвск, очевидно, что существует ряд проблем, связанных с дефицитом пропускных способностей по отдельным участкам Транссиба. Линия Наушки-Заудинский вряд ли будет электрифицирована в ближайшие годы, возникает вопрос о соответствии её пропускной способности прогнозируемым объёмам перевозок. Если продвигать грузопотоки через Наушки, то следует держать в уме поток в объёме до 100 млн. т, в который вливаются струи монгольских грузов на плече от Заудинского до Тарской. А на выходе ещё и станция Карымская, испытывающая серьёзные затруднения в работе, вызванные с дефицитом перерабатывающей способности, связанным с целым комплексом эксплуатационных проблем. ОАО «РЖД» просто не сможет согласовать серьёзных объёмов для Монголии.

Для грубой оценки доходов монгольских железных дорог нужно рассчитать доходную ставку на 1 т-км. Это легко сделать на основании годового отчёта компании: совокупный доход от грузовых перевозок делится на грузооборот, рассчитанный в тонно-километрах. При этом не требуется высокая точность расчётов. Имея эту ставку и зная тоннаж экспорта, а также плечо доставки по монгольской территории, можно посчитать доходы от транспортировки по схемам через Наушки, через Эренцаав (Соловьёвск), через Замын-Ууд (Эран-Хото).

Наибольший совокупный доход получает монгольская сторона, при реализации проекта транспортировки своих грузов в направлении на порт Ванино через Эренцаав (Соловьёвск). Его практическая реализация требует строительства новых железнодорожных линий колеи 1520 мм, в первую очередь от Сайншанда до Баянтумена (Чойбалсана). Реализация такого глобального инфраструктурного проекта в стране с серьёзным уровнем безработицы позволит создать огромное количество рабочих мест на весьма продолжительный временной период. Причём произойдёт это в районах страны, где этих мест ни одна другая сфера производства, кроме горнодобывающей промышленности создать в ближайшей перспективе не сможет.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 РЖД подписали меморандум с властями Монголии и Южной Кореи [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.rosbalt.ru/business/2009/03/20/627436.html>.
- 2 Кучера, Дж. Китай пожирает глазами Монголию? [Электронный ресурс]. -Режим доступа: [http://inoforum.ru/inostrannaya\\_pressa/kitaj\\_pozhiraet\\_glazami\\_mongoliyu/](http://inoforum.ru/inostrannaya_pressa/kitaj_pozhiraet_glazami_mongoliyu/).
- 3 Монголия: отчет о стратегии содействия торговле и развитию логистики [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.adb.org/Documents/Translations/Russian/CS6-MON-summary-ru.pdf>.
- 4 Трансмашхолдинг завершил поставку партии тепловозов 2ТЭ116УМ в Монголию [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.metalinfo.ru/ru/news/51453>
- 5 Термины ИНКОТЕРМС 2000 [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.transconsult.ru/incoterms-list>.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *Монголия, региональная транспортная система, строительство новых железнодорожных линий, схемы транспортировки, условия контракта*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Железнов Дмитрий Валерианович, канд. техн. наук, проректор ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»  
Домбровский Игорь Андреевич, первый заместитель начальника АО «УБЖД»  
664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *Монголия, г. Улан-Батор-13, ул. Сеул-42, п/я 376, АО «УБЖД»*

## **СОВРЕМЕННОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПОНЯТИЯ «ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ»**

ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

**П.И. Новикова**

**THE MODERN CONCEPT OF «ECONOMIC POTENTIAL»**  
 «Irkutsk state university of railway transport»  
 P.I. Novikova

The economic potential is one of the basic categories of economic theory. There are many points of view on this concept, but there is no single definition of economic potential. The study aims at finding the most capacious definition of «economic potential».

*Keywords: economical potential, determine the economic potential, comprehensive indicator of the company*

Экономический потенциал является одной из базовых категорий экономической теории. Существует множество точек зрения на данное понятие, но нет единого определения экономического потенциала. Исследование нацелено на поиск наиболее емкого определения понятия «экономический потенциал».

Одной из базовых категорий экономической теории выступает потенциал, определяющий состояние и возможности развития хозяйственных систем. Введение в научно-практический обиход понятия «экономический потенциал» объяснялось желанием отыскать комплексный показатель, отражающий деятельность предприятия в целом. Величина экономического потенциала характеризует уровень развития производительных сил организации, определяет конкурентоспособность, степень капитализации. Само слово «потенциал» происходит от латинского «*potentia*», что означает сила, мощь [1]. В переводе с английского языка «*potential*» означает возможность, потенциальные возможности, напряжение [2]. Понятие «экономический потенциал» появилось в середине двадцатого века, но с тех пор претерпело множество изменений. Попробуем вывести наиболее полную формулировку понятия «экономический потенциал», анализируя определения, предлагаемые различными отечественными и зарубежными авторами. Для этого воспользуемся таблицей.

*Таблица – Экономический потенциал в интерпретации различных авторов*

Автор	Определение экономического потенциала	Пояснения
Ожегов С.И. [3]	Потенциал – степень мощности в каком-нибудь отношении, совокупность каких-нибудь средств, возможностей; внутренние возможности	Весьма неточное определение. Относится к потенциалу в целом. Не раскрывает понятие экономического потенциала.
Горбунов Э.П.	Экономический потенциал включает в себя показатели экономической мощи страны, которые характеризуют уровень развития производственных сил страны, прежде всего, с количественной стороны. Они дают представление об объемах производственных ресурсов общества	В определении упор делается на ресурсную составляющую экономического потенциала. Рассматривается экономический потенциал в самом широком смысле, нет никакой конкретики
Игнатовский П.А.	Экономический потенциал включает современные системы машин и другие орудия труда, весь научный и производственный арсенал, разведанные и добываемые запасы сырья и энергии, трудовые ресурсы, огромный производственный опыт	Понятие основано на ресурсной составляющей, делается упор на наличие орудий труда, сырья. Но при этом учитывается человеческий фактор, опыт
Мочалов Б.М.	Под экономическим потенциалом следует понимать совокупность накопленных ресурсов и их использованных и неиспользованных потенциальных возможностей в области производства материальных благ и услуг с целью более полного удовлетворения потребностей общества	Снова упор делается на ресурсную составляющую экономического потенциала, но при этом принимаются во внимание потенциальные возможности, то есть учитывается перспектива

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Продолжение таблицы

Автор	Определение экономического потенциала	Пояснения
Абалкин Л.И.	Потенциал (в том числе и экономический, и производственный, и научно-производственный) есть ни что иное, как обобщенная, собирательная характеристика ресурсов	Отражает только ресурсы в качестве единственной составляющей. При этом не учитываются другие составляющие экономического потенциала, такие как управленческий, экологический и пр. Не отражена перспектива развития
Задой А.А.	Экономический потенциал характеризует ресурсы, которые можно вовлечь в производство. Экономический потенциал — это совокупная способность общества, когда, используя имеющиеся в его распоряжении ресурсы, создается максимальный объем продукта и услуг как производственного, так и непроизводственного характера	Снова имеет место ограниченность понятия экономического потенциала ресурсным компонентом. Неточное определение, ориентированное лишь на максимальное производство товаров. Нет стратегического взгляда на производство
Спирин В.С.	Предлагает трактовать экономический потенциал через совокупность ресурсов, как за счет существующих, так и за счет выявленных резервов	Появляется понятие резервов, что говорит об ориентации производства на дальнейшее развитие, на перспективу
Панов С.А., Клейнер Г.Б., Тамбовцев В.Л., Качалов Р.М.	Под экономическим потенциалом следует понимать совокупность ресурсов и возможностей предприятия, определяющих перспективы его деятельности при тех или иных сценарных вариантах внешних условий	В этом определении снова имеют место ресурсы как основная составная часть потенциала, но учтены также возможности, перспектива
Ковалев В.В.	Экономический потенциал — совокупность имущественного и финансового потенциалов предприятия. Имущественный потенциал предприятия — совокупность средств предприятия, находящихся под его контролем. Финансовый потенциал предприятия — это характеристики финансового положения предприятия и его финансовых возможностей	Не отражены остальные составляющие экономического потенциала (управленческий, экологический, научно-технический и пр.). Экономический потенциал более емкое понятие
Толстых Т.Н., Уланова Е.М.	Под экономическим потенциалом следует понимать интегральные способности и возможности системы достигнуть желаемого состояния	Определение раскрывающее сущность экономического потенциала. Выражение «достигнуть желаемого состояния» указывает на то, что рассматривается долгосрочное развитие, перспективы роста
Сосненко Л.С.	Экономический потенциал рассматривается как способность предприятия обеспечивать свое долговременное функционирование и достижение стратегических целей на основе использования системы наличных ресурсов. Экономический потенциал — совокупность ресурсов и резервов, то есть наличие активов, обеспеченных соответствующими источниками финансирования	Наиболее полное и правильное определение экономического потенциала. Учтены ресурсы, резервы и категория времени
Щуков В.Н. [4]	Величина экономического потенциала характеризует уровень развития производительных сил, определяет конкурентоспособность страны, степень капитализации предприятий. Экономический потенциал включает в себя не только ресурсную (количественную) составляющую, но, прежде всего, качественную сторону — состояние материально-технической базы хозяйственных систем	Очень расплывчатое определение. Отражает количественную и качественную составляющие, но при этом никак не отражено успешное существование и развитие хозяйственной системы во времени



*Продолжение таблицы*

Автор	Определение экономического потенциала	Пояснения
Ковалев В.В. [5]	...Будем понимать под экономическим потенциалом способность предприятия достигать поставленные перед ним цели, используя имеющиеся у него материальные, трудовые и финансовые ресурсы.	Довольно полное определение экономического потенциала. При этом учтены основные составляющие экономического потенциала, но не учитываются возможности и скрытые резервы

Рассмотренные формулировки понятия «экономический потенциал» разнообразны, но все же можно выделить общие положения о содержании понятия «экономический потенциал», присущие каждому подходу:

- в качестве основной составляющей экономического потенциала выделяются ресурсы;
- кроме ресурсов выделяется понятие резервов предприятия, то есть имеющихся, но не используемых ресурсов;
- учитываются возможности предприятия.

При этом не приняты во внимание другие составляющие экономического потенциала, играющие немаловажную роль, такие как управленческий (кадровый, трудовой) потенциал, научно-технический, маркетинговый и прочие. Кроме этого неясна цель экономического потенциала, для чего он нужен предприятию. Практически полностью отсутствует категория времени в указанных определениях. Каждое предприятие ставит перед собой целью не только достижение максимальной прибыли, но и развитие предприятия в будущем, успешное существование его на протяжении долгого периода времени.

Имея определенные ресурсы, резервы, возможности, но, не имея опытных квалифицированных управляющих, предприятие продержится на плаву в течение очень непродолжительного периода времени. Также и имея опытных работников, но, не имея всех прочих составных частей, предприятие потерпит крах. То есть в процессе оценки экономического потенциала предприятие рассматривается как хозяйственная система в целом.

То есть в заключении можно сказать, что понятие «экономический потенциал» имеет более емкое содержание, чем было приведено в таблице. Экономический потенциал – это интегральный показатель, отражающий уровень развития системы на настоящий момент и учитывающий возможности развития хозяйственной системы в будущем, основанный на анализе имеющейся совокупности ресурсов живой природы, материальных и финансовых ресурсов, скрытых резервов, наличия квалифицированных кадров, устойчивого финансового положения. Изучение экономического потенциала действующей организации предполагает рассмотрение последней в виде системно организованной совокупности материальных и нематериальных ресурсов и процессов по их преобразованию в целях достижения конечного результата экономической деятельности. При этом наиболее логичным с точки зрения системного подхода к анализу деятельности предприятия вообще и экономического потенциала последнего в частности представляется выделение следующих основных компонентов экономического потенциала организации: производственно-технический потенциал, маркетинговый потенциал, трудовой потенциал, инновационный потенциал, финансово-инвестиционный потенциал. Данный подход позволяет представить взаимосвязь ресурсов и возможностей на каждом этапе кругооборота капитала и тем самым охватить весь финансово-хозяйственный цикл коммерческой организации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Potentia [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://ru.wiktionary.org/wiki/potentia>.
- 2 Potential [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://lingvopro.abbyyonline.com/en/Search/en-ru/potential>.
- 3 Мерззликина, Г.С. Экономический потенциал организации: теоретический аспект [Электронный ресурс] / Г.С. Мерззликина, О.А. Минаева.
- 4 Щуков, В.Н. Экономический потенциал регионов России и эффективность его использования [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.Н. Щуков; Иванов. гос. текстил. акад., Каф. регион. экономики и упр. -Иваново, 2002.
- 5 Ковалев, В.В. Финансовый анализ: методы и процедуры / В.В. Ковалев. -М.: Финансы и статистика, 2002. -560 с.: ил.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *экономический потенциал, определение экономического потенциала, комплексный показатель деятельности предприятия*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Новикова Полина Игоревна, аспирант ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»*

## **ОРГАНИЗАЦИЯ РЫНКА ТРАНСПОРНЫХ УСЛУГ**

Вычислительный центр Дальневосточное отделение Российской академии наук

**Р.Г. Леонтьев**

### **ORGANIZATION OF MARKET OF TRANSPORT SERVICES**

Computer center of Far-Eastern branch of «Russian academy of sciences»

R.G. Leontiev

The general and private aspects of activity of participants of market of transport services are selected. The general list of types of business allowed to form the area of organization and grant of services. At presence of analogies only on a railway transport the division of infrastructure from transportations between different participants is acknowledged inadvisable.

*Keywords: types of transport, market of transport services, proprietors of infrastructure, ferrymen, operators, mediators, transport expedition, services of transport agents, transportation, access to the infrastructure*

Выделены общие и частные аспекты в деятельности субъектов рынка транспортных услуг. Общий перечень видов бизнеса позволил сформировать область организации и предоставления услуг. При многих аналогиях лишь на железнодорожном транспорте разделение инфраструктуры от перевозок между различными субъектами признаётся нецелесообразным.

Современный рынок транспортных услуг – это рыночное пространство, представленное потребителями, а также взаимодействующими и конкурирующими субъектами предпринимательской деятельности, подчинённое правилам и нормам, устанавливаемым государственными институтами. Инструментами, обеспечивающими его функционирование, выступает континуум объектов инфраструктуры и транспортных средств.

Рынок транспортных услуг структурно представляется состоящим из совокупности рынков по видам транспорта, каждый из которых в свою очередь может предполагать существование:

а) естественно-монопольного рынка, так, к категории процессов, реализуемых субъектами естественных монополий на транспорте относятся: транспортировка нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам и газа по трубопроводам (далее приниматься во внимание не будет); железнодорожные перевозки; услуги в транспортных терминалах, портах и аэропортах; услуги по использованию инфраструктуры внутренних водных путей; услуги по использованию инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования [1, 2];

б) и/или конкурентного рынка, вмещающего множество покупателей и продавцов, в том числе посредников по оказанию различных услуг.

В отличие от множества других рынков, продуктом транспортного вне зависимости от вида используемых средств, наличия или отсутствия конкуренции выступают не имеющие вещественно-натуральной формы процессы: транспортировка населения (в том числе багажа) и грузов; операции не входящие в перевозочный процесс, но связанные с его подготовкой и проведением; услуги по доступу к объектам инфраструктуры.

К числу субъектов предпринимательской деятельности, реализующих перечисленные услуги, относится ряд категорий, каждая из которых в зависимости от вида транспорта имеет схожие черты или отдельные отличия. К ним относятся владельцы инфраструктуры, перевозчики, операторы и другие посредники, деятельность которых регламентируется общегосударственными и соответствующими каждому виду транспорта нормативно-законодательными актами. В числе отдельных существенных характеристик следует выделить:

– владельцы многих объектов инфраструктуры транспорта в РФ, за исключением автомобильного, являются участниками естественно-монопольного рынка. На недискриминационных условиях они обязаны предоставлять услуги по доступу к объектам другим представителям транспортного рынка для осуществления ими предпринимательской деятельности в условиях конкуренции;

– к перевозчикам, с малозначительными отличиями по видам транспорта, относятся юридические лица или индивидуальные предприниматели, принявшие на себя по договору перевозки обязанность доставить груз, пассажира или его багаж из пункта отправления в пункт назначения;

– операторы, как субъекты предпринимательской деятельности в зависимости от вида

транспорта имеет ряд существенных отличий закреплённых законодательной базой. Принимая их во внимание следует отметить: единой формулировки термина «оператор» на транспорте не существует; официально он не закреплён нормативными актами регламентирующими деятельность субъектов речного и автомобильного транспорта; на автомобильном, в понимании аналогичном железнодорожному, эти функции выполняют компании, имеющие в собственности или на условиях аренды транспортные средства;

– другие посредники, в соответствии со сложившейся практикой на рынке транспортных услуг к ним относится ряд участников идентифицируемых также в качестве операторов: логистические; портовые; мультимодальных перевозок и пр. К посредникам так же относятся: стивидоры, экспедиторы, таможенные и транспортные брокеры, фрахтовщики и др.

Обращаясь к [3], как документу правоустанавливающему и регламентирующему отношения между всеми участниками гражданского оборота на товарном рынке, а также к [1], проанализируем их основные положения в приложении к рынку транспортных услуг и видам бизнеса, получившим своё развитие в результате взаимодействия различных субъектов предпринимательской деятельности.

В производстве и реализации транспортных услуг вне зависимости от транспортной специфики можно выделить ряд основополагающих процессов, на основе которых развиваются различные виды бизнеса. Объединив их в единое целое, получаем некую часть рыночного пространства в сфере транспорта в виде «Области организации и предоставления транспортных услуг» (рисунок), включающую процессы: транспортной экспедиции (подготовки груза к перевозке и получению в пункте назначения); транспортного агентирования; перевозки (транспортировке); предоставления доступа к объектам инфраструктуры.

Входом в «Область организации и предоставления транспортных услуг» является возникновение потребности в перемещении в пространстве: товара, как материального продукта; пассажира и его багажа.

Востребованность в транспортировке товара, как материального продукта может стать следствием различных обстоятельств, вызывающих необходимость его перемещения в пространстве.

Например, в результате сделки купли-продажи осуществлённой на товарном рынке с последующей перевозкой до места назначения. В результате объект совершённой сделки изменяет свой статус (*товар* → *груз*) и рынок (*объект товарного рынка* → *объект рынка транспортных услуг*).

Потребность в перевозке пассажиров, как правило, является следствием изменения местожительства временно или постоянно части населения. Приобретение проездного билета субъектом товарного рынка, делает лицо его купившее объектом рынка транспортных услуг (*субъект товарного рынка* → *объект рынка транспортных услуг*) и изменяет его статус (*покупатель* → *пассажир*).

Необходимость в транспортировке груза, ограниченные возможности грузоотправителя в организации перевозочного процесса и в оформлении документов способствовали развитию *транспортной экспедиции*, регламентируемой действующим законодательством [3, 4].

Экспедиторские услуги на рынке могут оказывать как отдельно организованные для этих целей компании (транспортно-экспедиторские, логистические), так и непосредственно перевозчики, диверсифицирующие свою деятельность. Но вне зависимости от того кто принимается на себя обязательства по реализации данного вида услуг в отношении любой из групп действуют правила установленные в [3, глава 41].

Под *агентированием* обычно рассматривается процесс, направленный на принятие решений и их реализацию в интересах вторых лиц (клиентов, принципалов), реализуемый на основе заключения агентского договора между агентом и принципалом. В приложении к транспортной специфике, его заключение возможно между портовым агентом и судовла-

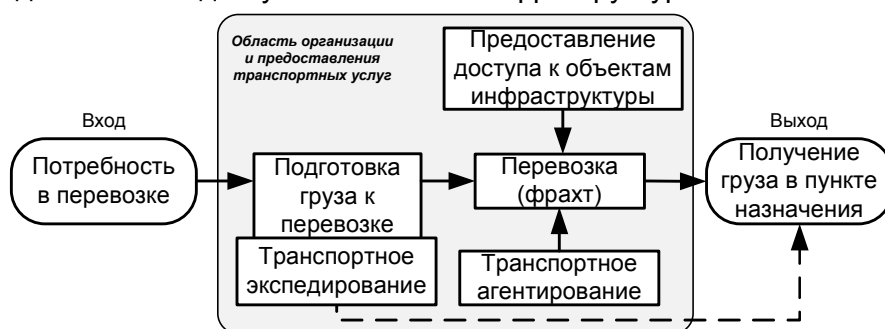


Рисунок – Область организации и предоставления транспортных услуг

дельцем, фрахтовым брокером и судовладельцем. В соответствии с [3, ст. 1005, п. 1] агентирование может иметь форму договора комиссии, заключаемого от имени агента за счёт принципала или договора поручения, заключаемого от имени и за счёт принципала. В первом случае права и обязанности в результате совершённой агентом сделки с третьим лицом возникают у агента, во втором у принципала. Согласно [3, ст. 1009, п. 1], агент вправе в целях исполнения договора, если иное не предусмотрено агентским договором, заключить субагентский договор с другим лицом, оставаясь ответственным за действия субагента перед принципалом. Поскольку положения [3, глава 52] носят общий характер, то в отношении к рынку транспортных услуг, агентские функции выполняют брокеры, а также логистические компании. К наиболее популярным видам относятся: морское (судов или в портах), таможенное, логистическое агентирование.

Процесс *перевозки* предполагает не только нахождение в пути следования объекта, но также его доставку до пункта назначения, промежуточного пункта либо до места перевалки груза с последующим продолжением перевозки (возможно другим видом транспорта). Исполняется на основе договора, заключаемого между перевозчиком и грузоотправителем и положений установленных в [3, ст. 785, п. 1; ст. 786, п. 1 и п. 2; ст. 787; ст. 788; ст. 789, п. 1; ст. 791, п. 1; ст. 791, п. 2; ст. 799].

Как правило, на всех видах транспорта заключаемый договор перевозки относится к категории реальных, так как вступает в силу с момента передачи груза грузоотправителем и его приёма перевозчиком. Однако возможны случаи заключения консенсуального договора, то есть на условиях принятия перевозчиком обязательств предоставить транспортное средство ранее, чем будет осуществлена передача груза, например, договор фрахтования (чартер) по перевозке груза морским транспортом.

Осуществление процессов по экспедированию, агентированию и перевозке имеет достаточно высокий уровень их общности в реализации по видам транспорта. И это не случайно. Первое, в отношении всей совокупности посредников по каждому из направлений действует общая правовая база – Гражданский кодекс РФ. Второе, как виды бизнеса они развиваются в условиях конкурентной среды, провоцирующей материализацию принципа диффузии технологий (распространения инноваций). Так, одни собственники разрабатывают и реализуют идеи (инновации) оптимизирующие их деятельность с целью сокращения расходов, повышения доходов, в том числе за счёт расширения клиентской базы и пр. Другие их применяют в своих компаниях, сокращая потери от недоиспользованных возможностей.

Однако «Область организации и предоставления транспортных услуг» (см. рисунок) включает в себя ещё одну особую категорию субъектов предпринимательской деятельности, задача которых реализация процесса предоставления доступа к объектам инфраструктуры – это её владельцы, поведение и деятельность которых (включая механизмы взаимодействия с другими участниками рынка) в значительной степени определяется возможностью осуществлять бизнес в условиях конкуренции или естественной монополии.

*Предоставление доступа к объектам инфраструктуры* имеет ряд особенностей. Так, деятельность их владельцев: регламентируется широким перечнем нормативно-законодательных актов, содержание которых может распространяться на все субъекты рынка, иметь общеотраслевой характер, или индивидуальный по видам транспорта; контролируется и регулируется ФАС и ФСТ РФ, а также их территориальными органами и органами исполнительной власти субъектов РФ в области государственного регулирования тарифов [1, ст. 5].

Владельцы инфраструктуры взаимодействуют с прочими участниками рынка услуг на условиях договора.

*Выходом* из «Области организации и предоставления транспортных услуг» является «Получение груза в пункте назначения», осуществляемое, как правило, грузополучателем (третьим лицом), в пользу которого заключается договор перевозки между грузоотправителем и перевозчиком или уполномоченным на получение груза (получателем) [3, ст. 785, п. 1], например, экспедиторской компанией при наличии в договоре с клиентом (грузополучателем или грузоотправителем) соответствующего пункта на исполнение этой операции.

Подводя итоги исследования процесса организации отраслевого рыночного пространства, отмечено наличие ряда общих черт, свойственных всем видам транспорта. При многих аналогиях лишь железнодорожный организует рыночное пространство при условии нецелесообразности отделения инфраструктуры от перевозок.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 О естественных монополиях: федер. закон от 17 авг. 1995 г. № 147-ФЗ.

2 О государственном регулировании и контроле цен (тарифов, сборов) на услуги субъектов естественных монополий в транспортных терминалах, портах, аэропортах и услуги по использованию инфраструктуры внутренних водных путей: постановление Правительства Рос. Федерации от 23 апр. 2008 г. № 293.

3 Гражданский кодекс Российской Федерации: федер. закон от 21 окт. 1994 г. № 51-ФЗ.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *виды транспорта, рынок транспортных услуг, владельцы инфраструктуры, перевозчики, операторы, посредники, транспортное экспедирование, агентирование, перевозка, доступ к инфраструктуре*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Леонтьев Рудольф Георгиевич, докт. экон. наук, профессор ВЦ ДВО РАН*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *680000, г. Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65, ВЦ ДВО РАН*

## **ГОРИЗОНТЫ ВИДЕНИЯ БИЗНЕСА ОАО «РЖД» НА РЫНКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ**

**ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей  
сообщений»**

**Н.М. Стецюк**

**HORIZONS OF VISION OF BUSINESS OF JSC «RUSSIAN RAILWAY»**

**AT THE MARKET OF RAILWAY TRANSPORT SERVICES**

**«Far-Eastern state university of railways»**

**N.M. Stetsuk**

Reasons of the propagandized JSC «Russian railway» conception of pointlessness of separation of infrastructure from transportations are presented. The examples of alternative variants are presented. An author expressed opinion business of JSC «Russian railway» to be management an infrastructure.

*Keywords: JSC «Russian railway», natural monopoly, monopoly, infrastructure, transportations, models of division of infrastructure from transportations*

Представлены причины, пропагандируемой ОАО «РЖД» концепции нецелесообразности отделения инфраструктуры от перевозок. Приведены примеры альтернативных вариантов. Высказана точка зрения о наличии возможностей переориентировать бизнес ОАО «РЖД» на управление инфраструктурой.

Железнодорожный транспорт РФ включает виды деятельности, осуществляемые в условиях естественной монополии и конкурентного рынка. С 2003 г. широкий спектр бизнес-направлений в названных сегментах приняло на себя ОАО «РЖД», ставшее с одной стороны, естественным монополистом – владельцем инфраструктуры (ВИ) с обязательствами, по [1, 2], обеспечивать доступ к объектам всем участникам рынка включая конкурентов в сфере грузовых, в том числе высокодоходных перевозок; с другой доминирующей компанией (практически монополистом) на рынке перевозок, выполняющей транспортировку, по [3], более 97% грузов.

В сложившейся ситуации целесообразно задать вопрос, какой же вид бизнеса для ОАО «РЖД» сегодня приоритетный. Ответ очевиден, приоритет – это перевозка. Инфраструктура – это лишь инструмент в конкурентной борьбе в смежных видах бизнеса. Выявленные ФАС РФ нарушения ВИ правил [1, 2], являются следствием осуществления им перевозочной деятельности, а трудности, возникающие в результате этого вида бизнеса ОАО «РЖД», имея бесспорное преимущество перед другими участниками рынка, пытается частично решить за счёт их дискриминации, порождаемой: чрезвычайно высокими расходами ВИ, связанными с необходимостью содержания и развития объектов; конкурентной борьбой за перевозки высокодоходных грузов.

Наличие названных мотивационных обстоятельств вызывает активные дискуссии по поводу целесообразности отделения инфраструктуры от перевозочного процесса. В результате обсуждений сформировалось два подхода: традиционный – железнодорожный транспорт – это специфическая отрасль и в ней нецелесообразно отделять инфраструктуру от перевозчиков, соответствует американской модели горизонтального разделения (рисунок 1) или её варианту неполного разделения (рисунок 2); нетрадиционный (рекомендуемый Всемирным банком) – железнодорожный транспорт, как любая другая транспортная отрасль должен функционировать в условиях отделения инфраструктуры от перевозок, соответствует европейской модели вертикального разделения (рисунок 3).

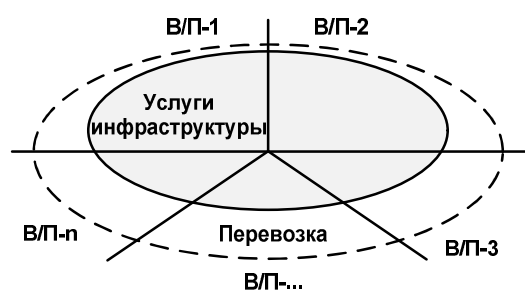


Рисунок 1 – Горизонтальное разделение (В/П-компания владеет инфраструктурой и перевозчик; П-компания перевозчик)

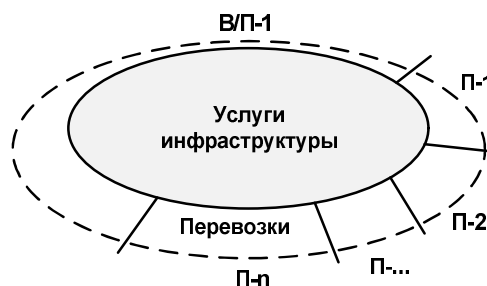


Рисунок 2 – Неполное разделение (В/П-компания владеет инфраструктурой и перевозчик; П-компания перевозчик)

Анализируя «Программу структурной реформы железнодорожного транспорта», следует отметить, в её содержании были заложены равные возможности к реализации как европейской, так и американской модели. Однако под воздействием многих факторов в том числе активной позиции менеджмента ОАО «РЖД», получила развитие схема близкая по содержанию к рисунку 3, но вследствие наличия для доминирующей компании на рынке лишь единственного перевозчика-конкурента (ОАО «Золотое звено», выполняющего перевозку около 3% грузов сети), идентифицированная автором, как мнимое (ложное) разделение (рисунок 4).

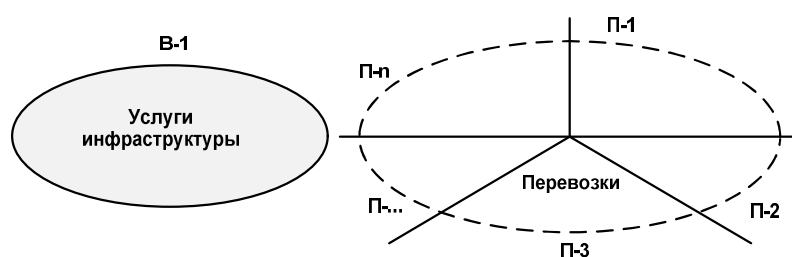


Рисунок 3 – Вертикальное разделение (В/П-компания владеет инфраструктурой и перевозчик; П-компания перевозчик)

Рассмотрим возможности приложения вариантов (рисунки 1-3) к отечественному железнодорожному транспорту. Так при современной конфигурации железных дорог сети РФ схема горизонтального разделения встретит серьёзные препятствия организационного характера. Вариант неполного разделения реально осуществим. К сожалению, со стороны ОАО «РЖД» он встречает серьёзные преграды. Единственная уступка, допущенная менеджментом компании, схема, получившая название «локальные перевозчики». В числе причин, по которым ВИ ограничивает развитие конкуренции на рынке перевозок, можно назвать те которыми оперирует сама компания, например, техническая нецелесообразность, рост себестоимости и др. При этом также не следует забывать, что для любого субъекта, монополия наиболее лёгкий и выгодный путь в получении дохода. Она позволяет создавать меньшее количество продукции по более высокой цене, а в нашем случае ограничивая других участников в доступе к объектам контролировать их деятельность. В тоже время в случае, увеличения объёмов производства, в монополии имеется потенциал в приросте издержек, себестоимости и тарифов, а отсутствие не только конкурентов, но также соревнующихся естественных монополистов в сфере предоставления услуг инфраструктуры (как это предусматривает американская модель) снижает заинтересованность единственного владельца активно участвовать в разработке и внедрении ресурсосберегающих технологий, что также не будет способствовать снижению себестоимости и тарифам.

Данные выводы позволяют критически подойти к реализуемому варианту, основанному де-юре на неполном разделении инфраструктуры от перевозок, а де-факто в условиях отсутствия рынка перевозчиков.

Наиболее вероятной альтернативной моделью российскому варианту, способствующей развитию конкуренции могла бы стать практика европейских государств вертикального раз-

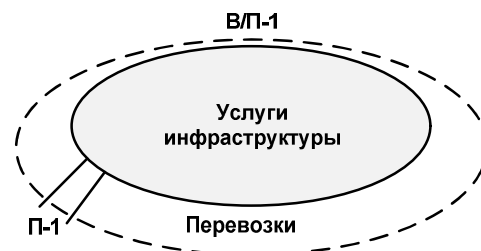


Рисунок 4 – Мнимое (ложное) разделение (В/П-1-компания владеет инфраструктурой и перевозчик ОАО «РЖД»; П-1-компания перевозчик ОАО «Золотое звено»)

деления инфраструктуры от перевозок. При этом было бы неверным утверждение, что в ней существуют только достоинства, такие как отсутствие мотиваций в создании ВИ дискриминационных условий в отношении частных компаний, повышение уровня развития конкуренции в среде различных собственников вагонов на базе единой инфраструктуры, потенциал в обеспечении более высокого качества обслуживания и скорости доставки. Необходимо во внимание принимать риски, отмеченные в [3], включая рост себестоимости перевозок и др. Но это лишь риски, которыми можно управлять, и правильно выбранная программа по их трансформации должна позволить снизить вероятность их возникновения, а разработка эффективных мер по финансированию возможного ущерба стать превентивной мерой обеспечивающей покрытие прогнозируемых убытков.

Неоднозначность восприятия ситуации в видении будущего железнодорожного транспорта России порождает в научно-практической среде проекты альтернативных решений в рамках традиционного и нетрадиционного подходов. Например, Ахполов И.К. отмечает, что отрасли нужна специализированная государственная структура, «управляющая инфраструктурой» [4]. Предложения Кибалова Е.Б. и Кина А.А. [5] ориентированы на горизонтальное разделение посредством создания пяти вертикально-интегрированных железнодорожных компаний. Внимание заслуживает точка зрения Золотницкого А.В. [6], предлагающего отметить практику германских железных дорог основанную на компромиссном варианте схем вертикального и горизонтального разделения инфраструктуры от перевозок, а также сохранении инфраструктуры в собственности государства под управлением компании-преемницы.

Проведя анализ трёх альтернативных решений, представляющих нетрадиционный и традиционный подходы к видению будущего железнодорожного транспорта, следует отметить, их авторы сходятся во мнении о необходимости создания некоей государственной структуры, отвечающей за политику развития, решающую стратегические и тактические задачи, в том числе в отношении инфраструктуры. Однако в точках зрения относительно целесообразности конкуренции присутствуют суждения, которые можно отнести к смежным. Так, Ахполов И.К. в целом негативно относится к конкуренции на железнодорожном транспорте; в альтернативу Кибалова Е.Б. и Кина А.А. положено развитие межсетевой конкуренции субъектов, имеющих максимально близкие характеристики; Золотницкий А.В. предлагает развивать конкуренцию на рынке перевозок.

В сложившейся крайне непростой ситуации, возможно для отрасли действительно нужен компромиссный вариант, подобный и реализуемый железнодорожным транспортом Германии, являющийся альтернативным активно пропагандируемой нецелесообразности разделения инфраструктуры от перевозок посредством организации на базе ОАО «РЖД» некоей компании избавленной, с точки зрения менеджмента, от необходимости одновременно решать проблемы в отношении двух автономных и конкурирующих между собой по уровню затрат и доходов сферах: владение инфраструктурой с вытекающими последствиями (её содержание и развитие) и осуществление перевозочной деятельности. И предпосылки к разработке альтернативного варианта, в отношении бизнеса ОАО «РЖД», ориентированного лишь на предоставление услуг инфраструктуры на перспективу (аналогичного немецкому) существуют.

Конечно, в случае принятия решения, кардинально противоречащего существующему подходу, ставшему в условиях российского рынка железнодорожных транспортных услуг практически идеологическим, государству придётся столкнуться с множеством проблем: дополнительными расходами на осуществление реорганизации ОАО «РЖД»; расприватизацией его имущества; ростом себестоимости перевозок и др. Это также не будет содействовать увеличению частных инвестиций в инфраструктуру. Но, как показывает опыт стран мира (и правительству РФ необходимо этот факт признать), в силу значимости транспорта для экономики существенная часть вложений в развитие и поддержание железнодорожной инфраструктуры должна осуществляется за счёт бюджетных средств. Что касается процесса перевозок в случае его отделения от инфраструктуры, то в скором времени, бесспорно, получить достойное развитие рынок перевозчиков, конкуренция между которыми, как и в любой другой без исключения отрасли, способна активизировать предпринимателей к сокращению издержек, реализации инноваций, созданию более качественного продукта, росту инвестиций и др.

Не менее важным результатом альтернативного варианта, ориентированного на развитие конкуренции, следует рассматривать утрату прямой финансовой заинтересованности ОАО «РЖД» в создании дискриминационных условий для участников рынка транспортных



услуг. Наделение же компании функциями, например, по соблюдению участниками рынка технических условий безопасности движения и/или контролирующими встречные порожние вагонопотоки различных собственников и др., с правом принятия решения об ограничении доступа к инфраструктуре нарушителей будет способствовать созданию единых диспетчерских и логистических центров на рынке перевозок.

Таким образом, ориентируясь на опыт отечественных видов транспорта и железных дорог ряда европейских стран, следует ещё раз критически рассмотреть целесообразность существования на российском рынке транспортных услуг компании, одновременно являющейся естественным монополистом в сфере оказания услуг инфраструктуры и де-факто монополистом в перевозочном процессе.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Об утверждении Правил оказания услуг по использованию инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования: постановление Правительства РФ 20 нояб. 2003 г. №703 //Собр. законодательства РФ. -2003. -№47. -Ст. 4552.
- 2 Правила недискриминационного доступа перевозчиков к инфраструктуре железнодорожного транспорта общего пользования: постановление Правительства РФ 25 нояб. 2003 г. №710 //Собр. законодательства РФ. -2003. -№48. -Ст. 4680.
- 3 Реформа естественных монополий [Электронный ресурс]: итог. докл. о результатах работы эксперт. группы (№18), подгруппа «Ж.-д. трансп.». -Режим доступа: <http://ipem.ru>.
- 4 Ахполов, И.К. Состояние и стратегические направления реформирования отечественного железнодорожного транспорта [Электронный ресурс]: аналит. записка / И.К. Ахполов. -Режим доступа: <http://strategy2020.rian.ru>.
- 5 Кибалов, Е.Б. Реформирование железнодорожного транспорта России: теория, практика, перспективы [Электронный ресурс] / Е.Б. Кибалов, А.А. Кин // Регион: экономика и социология. -2011. -№2. -С. 175-192. -Режим доступа: <http://ecsocman.hse.ru>.
- 6 Золотницкий, А.В. Структурные реформы железнодорожного транспорта в Германии и России: сравнительный анализ: автореф. дис. ... канд. экон. наук / А.В. Золотницкий. -М., 2008. -24 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ОАО «РЖД», естественная монополия, монополия, инфраструктура, перевозки, модели разделения инфраструктуры от перевозок  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Стецюк Наталья Михайловна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ДВГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47, ФГБОУ ВПО «ДВГУПС»

## КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОЦЕНИВАНИЕ РИСКОВ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

О.А. Бендер

### ESTIMATION OF RISKS IN THE MONITORING SYSTEM OF HIGHWAYS QUALITY «Siberian state transport university»

O.A. Bender

The integral function management system is control. Final procedure is decision-making. Decision-making is accompanied by risks, in this case, risk of the producer of road-building works and risk of the highways users. In article the technique and the analysis of results of computer experiment of a quantitative assessment of the specified risks is offered.

*Keywords: highways, risk of the producer, risk of the customer, flatness of paving, decision-making*

Неотъемлемой функцией системы управления является контроль, конечным процедурным актом которого является принятие решения. Принятие решения сопровождается рисками, в данном случае, риском производителя дорожно-строительных работ и риском пользователя дорогой. В статье предлагается методика и анализ результатов компьютерного эксперимента количественной оценки указанных рисков.

В связи с увеличением интенсивности движения на автомобильных дорогах и количества тяжелых и сверхтяжелых грузовиков в составе транспортного потока возрастают требования к транспортно-эксплуатационным характеристикам автомобильных дорог. Транспортно-эксплуатационное состояние автомобильной дороги (ТЭСАД) меняется во времени, периодически контролируется и является управляемым процессом. Уровень качества ТЭСАД в некоторый момент времени  $t_j$  является функцией множества показателей  $K_{pc}$ , который для  $j$  дороги можно представить в виде нечеткого множества [1]

$$\bar{K}_{pcj} = \{K_{pcj}\} = (K_{pc1i}, K_{pc2i}, K_{pc3i}, \dots, K_{pc9i}). \quad (1)$$

Интегральным показателем, наиболее полно отражающим все основные транспортно-

эксплуатационные показатели, принята скорость движения, выраженная через коэффициент обеспеченности расчетной скорости.

Потребительские свойства дороги или ее транспортно-эксплуатационные показатели обеспечиваются параметрами плана, продольного и поперечного профилей, прочностью дорожной одежды, ровностью и сцепными качествами покрытия, состоянием искусственных сооружений, инженерным оборудованием и обустройством, уровнем содержания дороги.

Восстановление эксплуатационных качеств автомобильной дороги осуществляется в процессе капитального ремонта. Основанием для принятия решения о проведении капитального ремонта и для проектных решений при разработке инженерного проекта или рабочей документации на ремонт являются результаты диагностики автомобильных дорог и дорожных сооружений [2].

Диагностика автомобильных дорог содержит обследование, сбор и анализ информации о параметрах, характеристиках и условиях функционирования дорог и дорожных сооружений, наличии дефектов и причин их появления, характеристиках транспортных потоков и другой необходимой для оценки и прогноза состояния дорог и дорожных сооружений в процессе дальнейшей эксплуатации.

В связи с тем, что процесс измерения параметров сопровождается случайной погрешностью, то в системе контроля возникают в обязательном порядке ошибки принятия решений, которые являются рисками, так как приводят к определенным экономическим и социальным потерям.

В теории надежности эти же ошибки называются ложным и необнаруженным отказами. Количественно эти ошибки оцениваются соответствующими вероятностями, в данном случае, вероятность ложного брака ( $P_{лб}$ ) и вероятность необнаруженного брака ( $P_{нб}$ ). Эти вероятности имеют также смысл рисков производителя и заказчика соответственно. Риск изготовителя – это риск дорожно-строительной организации, которая несет излишние материальные и, в конечном итоге, финансовые затраты. Риск заказчика также связан с финансовыми затратами, но в более отдаленной перспективе.

Таким образом, возникает общая задача разработки математических моделей для количественного оценивания указанных рисков в функции статистических характеристик всех компонент процесса измерения, величины нормативов и процедуры принятия решений. На первом этапе моделирования будем считать, что нормативы величины детерминированные.

Для случая, когда контролируемый параметр  $S_i$  подчиняется закону Вейбулла, а погрешность измерения  $y_i$  нормальному закону, в работе [3] предлагаются следующие аналитические выражения для оценки рисков контроля:

$$P_{лб} = \sum_{i=1}^k \left[ \exp\left(-\frac{S_i^\beta}{\alpha}\right) - \exp\left(-\frac{S_{i+1}^\beta}{\alpha}\right) \right] \times \left[ \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \int_{S_n}^{S_i-3\sigma_y} \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) dy + \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \int_{S_s}^{S_i+3\sigma_y} \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) dy \right]; \quad (2)$$

$$P_{нб} = \sum_{i=1}^k \left[ \exp\left(-\frac{S_i^\beta}{\alpha}\right) - \exp\left(-\frac{S_{i+1}^\beta}{\alpha}\right) \right] \times \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \int_{S_n}^{S_i-3\sigma_y} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) dy + \sum_{i=1}^k \left[ \exp\left(-\frac{S_i^\beta}{\alpha}\right) - \exp\left(-\frac{S_{i+1}^\beta}{\alpha}\right) \right] \times \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \int_{S_s}^{S_i+3\sigma_y} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) dy, \quad (3)$$

где  $P_{лб}$  – вероятность ложного брака (риск изготовителя);

$P_{нб}$  – вероятность необнаруженного брака (риск заказчика работ).

Для использования выражений (2) и (3) с целью количественной оценки и прогнозирования указанных рисков на примере контроля ровности дорожного покрытия приняты данные по точностным показателям приборов, используемых на практике для измерения данного параметра. Показатели точности рекомендуемых средств измерения ровности приведены в таблице.

*Таблица – Погрешность измерения ровности дорожного покрытия*

Средства измерения	Погрешность	Норматив
Толчкомер ТЭД-2М	1 см (25%)	100-125 см/км
Профилометр	7-9%	4 м/км (IRI)
Трехметровая рейка с клиновым промерником	15%	3 мм

Кроме приведенных в таблице приборов, существуют и другие инструментальные средства, разрабатываются перспективные приборы, использующие новые физические принци-

пы измерения. С целью оценки и прогнозирования эффективности практического использования различных средств измерения, возникла необходимость исследовать и представить в графической форме зависимость величины рисков от соотношения погрешности измерения к среднему квадратическому отклонению контролируемого параметра ровности дорожного покрытия при заданных нормативах.

Был разработан алгоритм и программный комплекс для расчета указанных рисков по аналитическим выражениям (2) и (3).

Функциональное назначение программного комплекса оценки и прогнозирования рисков заключается в:

- количественной оценке рисков производителя строительных работ;
- количественной оценке рисков пользователя автомобильными дорогами;
- оценке достоверности процесса принятия решений в системе контроля качества автомобильных дорог в условиях статистической неопределенности.

На базе представленных в таблице данных и разработанного программного обеспечения был проведен компьютерный эксперимент.

Результаты компьютерного эксперимента представлены на рисунке 1.

Графические модели рисунка могут быть использованы в качестве номограмм расчета вероятностей ложного и необнаруженного брака. Можно оценивать качество контроля при существующей нормативной базе и метрологических характеристиках инструментальных средств и методов измерения, а также прогнозировать эти риски при выборе средств контроля из предлагаемого списка.

Исследуя рисунок, можно сделать вывод, что наибольшему влиянию подвержена вероятность появления ложного брака. При значении погрешности измерения соизмеримой с величиной среднего квадратического отклонения контролируемого параметра ( $\sigma_s$ ), риск ложного брака может достигать 25%. При

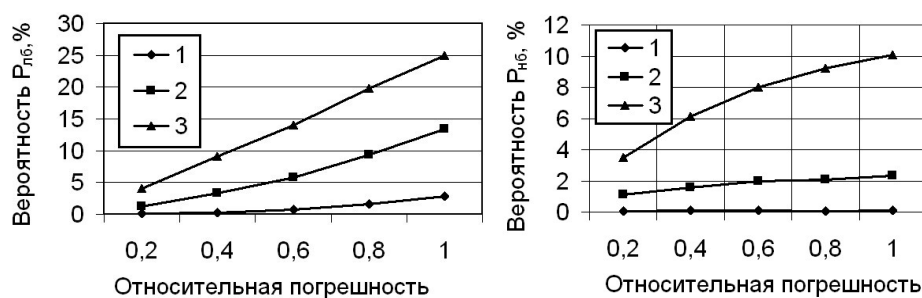


Рисунок – Номограммы расчета рисков: 1-значение нижнего норматива равно  $S_{cp} + \sigma_s$ ; 2-значение нижнего норматива равно  $S_{cp} + 2\sigma_s$ ; 3-значение нижнего норматива равно  $S_{cp} + 3\sigma_s$  ( $S_{cp}$  - среднее отклонение контролируемого параметра)

увеличении среднеквадратического отклонения погрешности измерения вероятность ошибок при разных нормативах растет нелинейно, что необходимо учитывать при экономическом обосновании качества контроля, и тогда появляется возможность оптимизации точностных показателей средств контроля. При этом, как заметно из графиков, влияние вариации нормативов значительно выше, чем влияние погрешности.

Для оценки рисков в процессе контроля продольной ровности автомобильной дороги прибором толчкомером воспользуемся таблицей. Так, по данным [3] погрешность этого прибора составляет 25% или в абсолютных единицах 25 см/км. Норматив следует считать при оценке работ после капитального ремонта равным  $S_{cp} + \sigma_s$ , что соответствует кривой 1 (см. рисунок). Тогда, из номограмм следует, что  $P_{лб} = 10\%$ , а  $P_{нб} = 6\%$ . Вопрос: много это или мало на данном этапе остается открытым, и в соответствии с рекомендациями [1, 3] его можно решить путем оптимизации, либо экспертными методами.

Количественные значения рисков, найденные выше, позволяют сделать следующее заключение:

- используемые методы контроля качества дорожного покрытия, инструментальные средства измерения и нормативная база в системе управления качеством порождают риски производителя и риски заказчика дорожно-строительных работ;
- значения полученных подобным образом количественных оценок рисков следует оценивать, как предварительные и по мере накопления статистического материала расчетные данные необходимо подвергать корректировке, что будет способствовать «интеллектуализации» системы;

– полученные результаты могут быть положены в качестве математического и программного обеспечения в автоматизированных системах принятия решений при строительстве и ремонте автомобильных дорог.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Красиков, О.А. Мониторинг и стратегия ремонта автомобильных дорог / О.А. Красиков. -Алматы: КазГОСИНТИ, 2004. - 263 с.
- 2 Инструкция по диагностике и оценке транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог: ПР РК 218-27-03. -Алматы, 2003.
- 3 Кулешов, В.К. Моделирование процессов контроля и принятия решений: монография / В.К. Кулешов, В.А. Корнев; Томск. политехн. ун-т. -Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2011. -295 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *автомобильные дороги, риск производителя, риск заказчика, ровность покрытия, принятые решения*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Бендер Оксана Анатольевна, соискатель ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

## **ИНЖИНИРИНГ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В ТОННЕЛЕСТРОЕНИИ**

**ЗАО «Бамтоннельстрой»**

**ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»**

**В.В. Гридасов, П.Е. Голото, В.С. Молчанов, Г.Н. Полянкин, Ю.А. Цибариус**

### **ENGINEERING AND RISK MANAGEMENT IN TUNNELLING**

**«Bamtonnelstroy»**

**«Siberian state transport university»**

V.V. Gridasov, P.E. Goloto, V.S. Molchanov, G.N. Polyankin, Yu.A. Tsibarius

A range of problems of engineering and risk management in tunnel construction is discussed on example of Project Management System (PMS) implemented in «Bamtonnelstroy». Engineering solutions are shown on every stage of work on object: Pre-designing, designing, project realization (object construction) and perspective (planning of further activity). Both basic constructive-technological and organizational risks appearing in tunnel facility construction are analyzed. We provide data how PMS works in «Bamtonnelstroy» and how it can be developed (modernized) further. We draw a conclusion that it is impossible to put into practice an effective project management without PMS support especially if many objects under construction are located sparsely.

*Keywords: engineering, risk management, project management system (PMS), progress schedule, tunneling, liner, special methods, tunnel technique, quality control*

Отражены вопросы инженеринговой деятельности и управления рисками в тоннелестроении на примере внедренной в Компании «Бамтоннельстрой» Системы управления проектами (СУП). На конкретных примерах показываются решение вопросов инженеринга на разных стадиях создания объектов: предпроектной, проектной, реализации проекта (строительства объекта) и перспективной (при планировании последующей деятельности предприятия). Анализируются не только основные конструктивно-технологические, но и организационные риски, возникающие при строительстве тоннельных сооружений. Приводятся данные о функционировании СУП в компании «Бамтоннельстрой» и перспективы её совершенствования (модернизации). Делается вывод о невозможности эффективного управления проектами без СУП, особенно в условиях рассредоточенности и большого количества строящихся объектов.

Компания «Бамтоннельстрой» осуществляет инженеринговые функции на строительстве более двадцати тоннелей в Сибири, на Дальнем Востоке и Кавказе, в том числе двенадцать тоннелей общей протяженностью 27,5 км строящейся совмещенной (автомобильной и железной) дороге Адлер-горноклиматический курорт «Альпика-Сервис», а также трех станций метрополитена в г. Москве. Инженеринг, как сфера деятельности, включает услуги на всех стадиях создании объектов:

- предпроектном (исследование условий производства, оценка технико-экономических обоснований);
- проектном (оценка проектных решений и разработка предложений по их корректировке);
- послепроектном (подготовка конкурсной документации и контрактов);
- реализации проекта (разработка технологий, подбор оборудования, организация производства, инспекция и оценка качества строительных работ);
- эксплуатационном (разработка рекомендаций по техническому содержанию объектов) и пр.

В целях обеспечения своевременности внесения необходимых корректировок, экспертный анализ исходных данных и возможных вариантов базовых технических решений требуется уже на этапе составления технических заданий на выполнение проектно-изыскательских работ. На этапе проектно-изыскательских работ инжиниринг заключается в анализе состояния и регулировании принимаемых в ПСД технических решений, в том числе по временным и стоимостным показателям. Меры инжиниринга на этапе реализации проекта можно условно разделить по стадиям выполнения работ (подготовительного периода, начального периода выполнения СМР, основного и заключительного периода строительства объекта), и направлениям: управление рисками и обеспечение безопасных условий труда, контроль состояния и меры обеспечения качества работ, контроль выполнения и регулирование контрактов, анализ деятельности и развитие команды проекта, анализ, интеграция и регулирование изменений проектных решений, анализ функционирования коммуникаций при реализации проекта.

Примером предпроектной проработки вопросов тоннелестроения может служить анализ предложенных Обоснованием инвестиций конструкций двухъярусных обделок тоннелей дороги Адлер- горно климатический курорт «Альпика-Сервис» под совмещенное автомобильно-железнодорожное сообщение (рисунок 1).

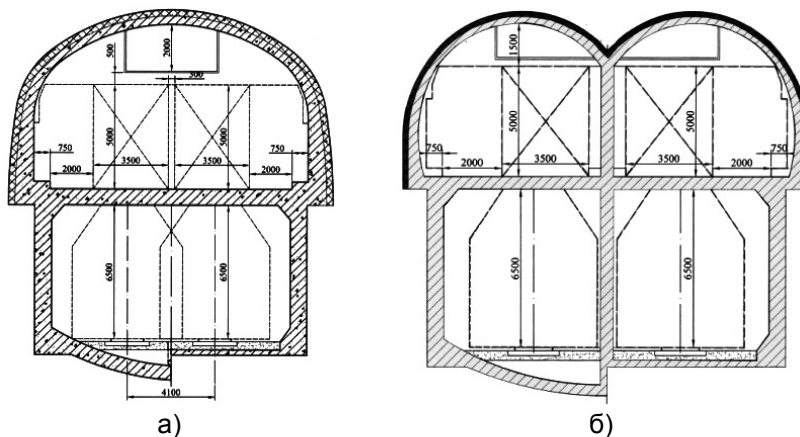


Рисунок 1 – Первоначальные варианты сечений двухъярусных совмещенных тоннелей: а)-одноводчатое; б)-двухсводчатое

Специалистами «Бамтоннельстрой» были отмечены низкая технологичность, высокие трудоемкость и длительность строительства тоннелей в случае применения таких двухъярусных конструкций. Взамен предложены отдельные тоннели, возводимые: 6 тоннелей – щитовым способом с использованием высокопроизводительных тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) со сборными обделками кругового очертания, и 6 тоннелей – горным способом с использованием производительных проходческих комбайнов и обделками подковообразного очертания. Это предложение, значительно снижающее риски, получило реализацию в проектных решениях.

Другим случаем является предложение ОАО УСК «МОСТ» и «Бамтоннельстрой» о замене двухъярусного моста через р. Лена у г. Якутска длиной (с эстакадной частью) 3531 м совмещенным (железнодорожно-автомобильным) тоннелем диаметром 12,8 м тоннелепроходческим механизированным комплексом (ТПМК) Herrenknecht HART-13210 (диаметр резания 13,2 м) с активным пригрузом забоя, с одноуровневым размещением в тоннеле одного железнодорожного пути и двух полос автомобильной дороги. «Бамтоннельстрой» является также инициатором использования имеющихся в его собственности двух ТПМК фирмы Lovat диаметрами более 10 м для строительства двухпутных тоннелей метрополитенов.

На стадии реализации проектов в «Бамтоннельстрое» внедрена информационная система управления проектами (СУП), без которой управление строительным производством в условиях рассредоточенности объектов невозможно. Действующий в организации стандарт предприятия СТП СМК 29-2011 «Организация проектного управления» регламентирует порядок взаимодействия служб в рамках действующей СУП, а также процессы: предварительного расчета вариантов рабочих документов производства работ по строительству тоннелей календарных графиков: производства работ (ГПР), использования оборудования и трудовых ресурсов, потребности в основных материалах; сопровождения текущих ГПР и графиков технического обслуживания и ремонта оборудования (отслеживания соответствия фактических показателей плановым значениям, оперативного контроля выполнения и накопления базы данных управленческих решений). Целью предварительного расчета вариантов ГПР (рисунок 2) является определение календарных сроков реализации этапов сооружения тоннеля, потребности в оборудовании, материальных и трудовых ресурсах на каждом этапе при применении различных возможных технологий и оборудования. Входом процесса являются

исходные данные по возможным технологиям строительства, подготовительных и вспомогательных работ; выходом – графики производства работ, движения машин и механизмов, потребности в основных материалах, потребности в специалистах.

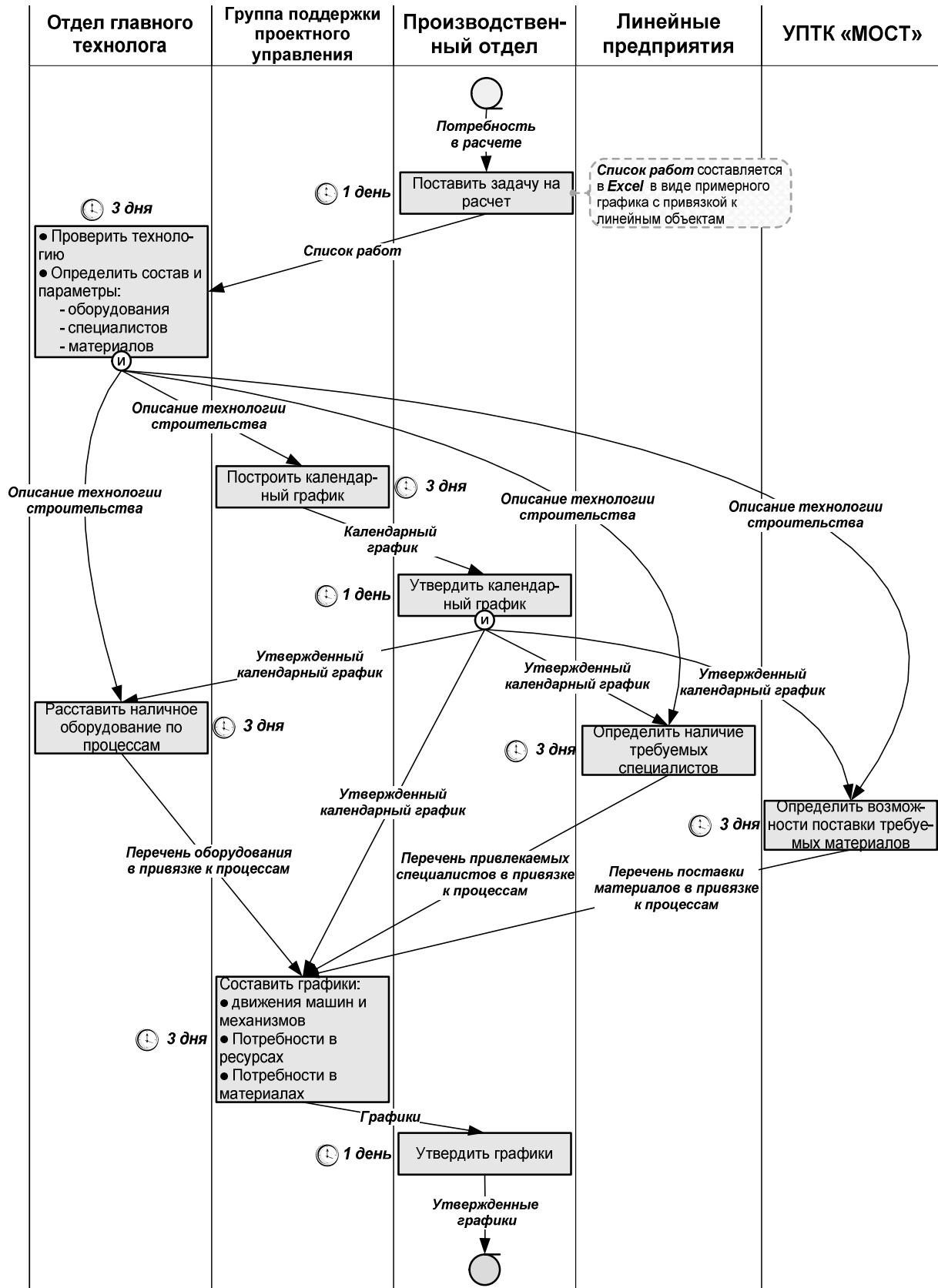


Рисунок 2 – Блок-схема расчета вариантов графиков производства работ

Формирование графиков является трудоемким и ответственным этапом, требующим определения в качестве исходных множества параметров разных технологий с минималь-

ными ошибками: сроков вспомогательных и подготовительных работ (строительство подъездных дорог, освоение стройплощадок с укреплением откосов, монтаж оборудования и пр.), темпов основных работ (скоростей проходки, устройства внутритоннельных конструкций и постоянного оборудования) и т.д. Если учесть, что многие технологии и оборудование применяются в отечественной практике впервые, то основой могут служить только аналоги и чужой опыт. Нелишне заметить, что использование нового дорогостоящего оборудования до официального отражения в нормативных документах должно пройти проверку в производственных условиях.

Процесс сопровождения текущих графиков производства работ (рисунок 3) заключается в оперативном отслеживании соответствия фактического выполнения работ плановым срокам ГПР, а также оперативных корректировках.

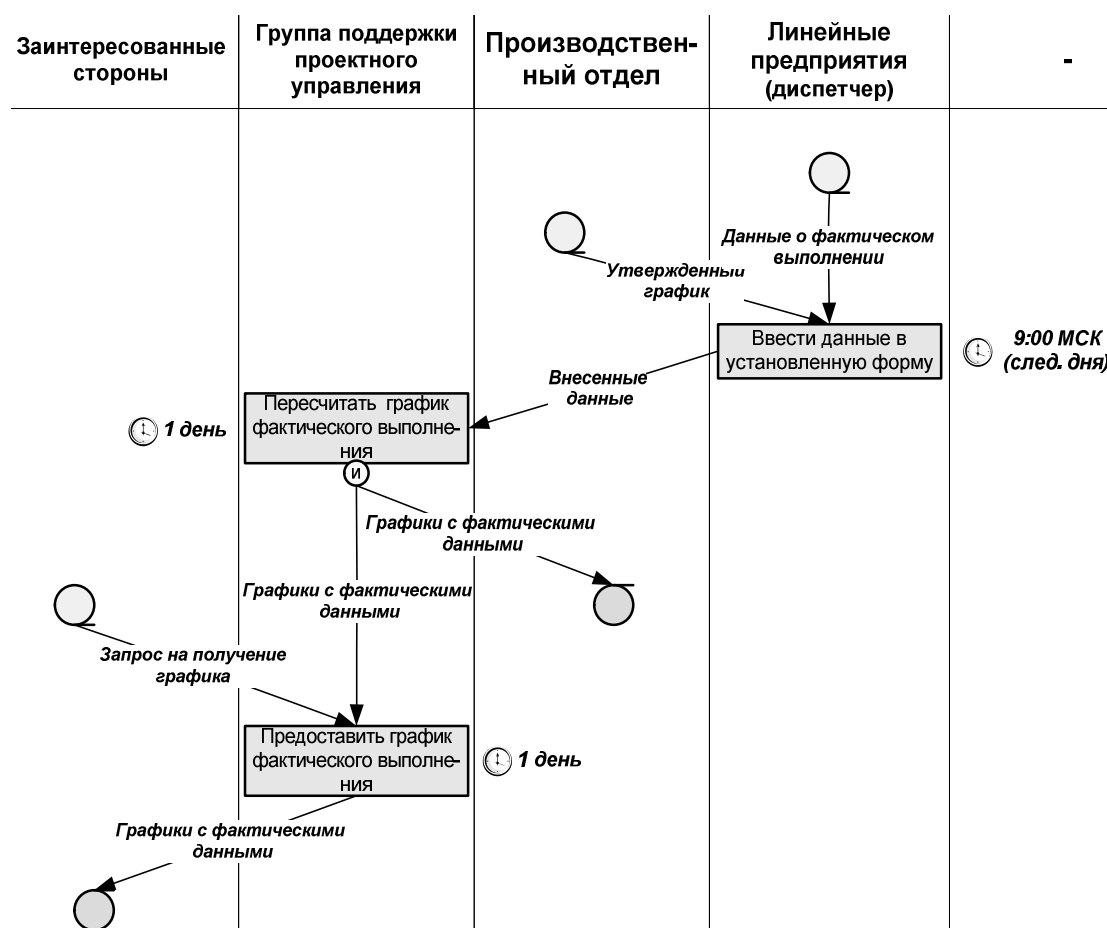


Рисунок 3 – Блок-схема сопровождения текущих графиков производства работ

Входом процесса являются оперативные сводки подразделений о выполнении работ; выходом – графическое представление факта выполнения (с отображением на календарном графике). Аналогично контролируется выполнение графиков движения оборудования, занятости специалистов, потребности в основных материалах, технического обслуживания и ремонта оборудования.

СТП СМК 29-2011 регламентирует также процессы сопровождения графика технического обслуживания и ремонта оборудования, контроля выполнения решений планерных совещаний, освоения лимитов Заказчиков и др. В настоящее время в «Бамтоннельстрой» осуществляется модернизация «оболочки» программы, которая в перспективе должна объединить системы документооборота, оперативной связи и производственной деятельности в едином информационном пространстве.

Важной составной частью инжиниринга является управление рисками, в основу которого положен анализ риска, что находит развитие (в виде отдельного раздела проекта) в подземном строительстве Германии, Франции, Японии и других стран, а с недавнего времени и в России (пока – единичные случаи). Согласно существующей классификации, анализ риска включает его идентификацию, анализ частоты и последствий. Риски подразделяют на

управляемые и неуправляемые. К управляемым относят риски, которые можно оценить и прогнозировать, включая их последствия: природные (учет землетрясений, наводнений и т.п.) и технические (ошибки при оценке инженерно-геологических условий, просчеты в проектировании, неправильный выбор оборудования, недостатки или несоблюдение технологических регламентов, некачественные материалы и пр.). К неуправляемым относят риски, которые невозможно исключить или снизить до приемлемого уровня (экономическая и политическая нестабильность, теракты и пр.), поэтому необходимо предусматривать их финансирование. Приемлемым является риск, уровень которого допустим и обоснован, исходя из экономических и социальных соображений. Такой анализ позволяет обосновать приемлемую степень риска для принятия технических решений на всех стадиях создания объекта.

Возможные риски на стадии строительства тоннелей связаны, прежде всего, с вполне понятной недостаточностью информации о характеристиках грунтов, с целью уточнения которых организуется бурение разведочных скважин из забоев тоннелей с отбором керна, сравнение получаемых данных с проектными величинами, накопление и обобщение результатов (постоянный мониторинг инженерно-геологических условий). Это позволяет заблаговременно выбрать спецспособы укрепления неустойчивых грунтовых массивов (параметры технологии, вид и состав тампонажного раствора). В некоторых случаях целью обработки грунтового массива является не повышение устойчивости (исключение вывалов и обрушений), а уменьшение истираемости режущих инструментов, что было осуществлено при проходке Кузнецовского тоннеля. Свойства скальных грунтов на трассе Кузнецовского тоннеля позволили провести целевые испытания и получить сертификат на их использование при производстве щебня.

Примерами возникновения рисков и необходимости принятия решений на стадии реализации проектов могут служить случаи, связанные с работой проходческого оборудования. Так, на ТПМК Seli-Lovat RME-394DS, перевезенном в Адлер на строительство железнодорожного тоннеля №3 совмещенной дороги из Сибири, при предстартовых испытаниях «заскрипел» подшипник главного вала ротора. Для исключения риска остановки комплекса при проходке тоннеля длиной 4573 м выбор решения был произведен из двух вариантов: заказ нового подшипника в сборе или шлифовка истираемых поверхностей – в пользу второго варианта. При проходке дренажной штольни Крольского тоннеля (КрасЖД ТПМК Robbins1413-301-1 диаметром 4,3 м), за 600 м до выхода комплекса на поверхность «потекла» прокладка ротора, для замены которой под землей необходимо выдвинуть ротор (предварительно пройдя вручную вспомогательную штольню и камеру перед щитом), что требует не менее 1,5 месяца. В данном случае было принято решение проходку не останавливать, несмотря на перерасход смазочных материалов, с параллельным решением вопроса о заказе и поставке прокладки для ее замены после выхода комплекса на поверхность.

Однако, идентифицируя риски, в основном, в основном выполняют анализ конструктивно-технологических решений объекта, забывая об организационном аспекте. Так, строительство транспортных тоннелей организуется обычно после проходки сервисно-дренажных штолен, и при проходке основных тоннелей важно осуществлять сопоставление и анализ фактических инженерно-геологических условий с прогнозом возможных осложнений. Но при задержках финансировании далеко не всегда второй этап выполняют те же исполнители. Значит, важно предварительно позаботиться об обеспечении исполнительной документацией по проходке первоначальной выработки и организационных мерах по ее использованию.

«Бамтоннельстрой» также активно работает в направлении использования прогрессивных материалов, порядок внедрения которых определяет Постановление Правительства РФ от 19 апреля 1996 г. №18-25 «О порядке применения в строительстве новых, в том числе импортных, материалов, изделий и конструкций». Кроме применяемых Компанией химических инъекционных материалов для опережающего укрепления грунтовых массивов, стоит вопрос об использовании нанобетонов, технологии которых развиваются в двух направлениях:

- производство высокоактивных портландцементов с использованием механохимической активации;
- введение в бетонные смеси комплексных добавок с присадками из нанообразований.

Таким образом, инжиниринг и управление рисками с использованием современных программных средств не только являются обязательным условием успешного решения текущих производственных задач, но и дают возможность предпроектной проработки вопросов, а также получения обоснованной оценки проектных решений и перспективных вопросов



строительства тоннелей.

- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *инжиниринг, управление рисками, система управления проектами, график производства работ, проходка тоннелей, обделка, специальные способы, проходческое оборудование, контроль качества*
- СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Гридасов Виктор Владимирович, генеральный директор ЗАО «Бамтоннельстрой»  
Голото Петр Евгеньевич, руководитель группы ЗАО «Бамтоннельстрой»  
Молчанов Виктор Сергеевич, канд. техн. наук, руководитель проекта ЗАО «Бамтоннельстрой»  
Полянкин Геннадий Николаевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
Цибариус Юрий Александрович, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»*
- ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630004, г. Новосибирск, ул. Шамшурина, 53, ЗАО «Бамтоннельстрой»  
630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

## ВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ И АЗИАТСКОЕ ЗАПОЛЯРЬЕ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.В. Зачёсов, В.И. Рагулин

**WATER TRANSPORT AND ASIAN POLAR REGION**  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
A.V. Zachjsov, V.I. Ragulin

Productive forces in borders of an Asian Polar region, transport communications, the fleet which is carrying out northern delivery of cargoes are considered.

*Keywords: Polar region, minerals, water transport*

Рассматриваются производительные силы в границах азиатского Заполярья, транспортные связи, флот, выполняющий северный завоз грузов.

Транспорт как инфраструктурная отрасль обеспечивает базовые условия деятельности и развития регионов России. Азиатское Заполярье условно можно разделить на три относительно самостоятельные части: Обское Заполярье, расположенное на севере Западной Сибири, Енисейское – на севере Восточной Сибири и Ленское – на Северо-Востоке России.

**Обское (Западно-Сибирское) Заполярье.** Границы Обского Заполярья проходят от п. Салехард к северу, включают полуострова Ямал, Гыданский и Тазовский, Обскую и Тазовскую Губы, устье рек Обь, Надым, Пур, Таз и множество малых рек, часть из которых используется для судоходства.

Значительную территорию Обского Заполярья занимает Ямало-Ненецкий автономный округ, который специализируется на разведке и добыче газа и нефти. В настоящее время на долю автономного округа приходится до 87% общероссийской добычи естественного газа и более 11% добычи нефти. В перспективе предполагается, что весь прирост добычи газового топлива в России будет осуществляться

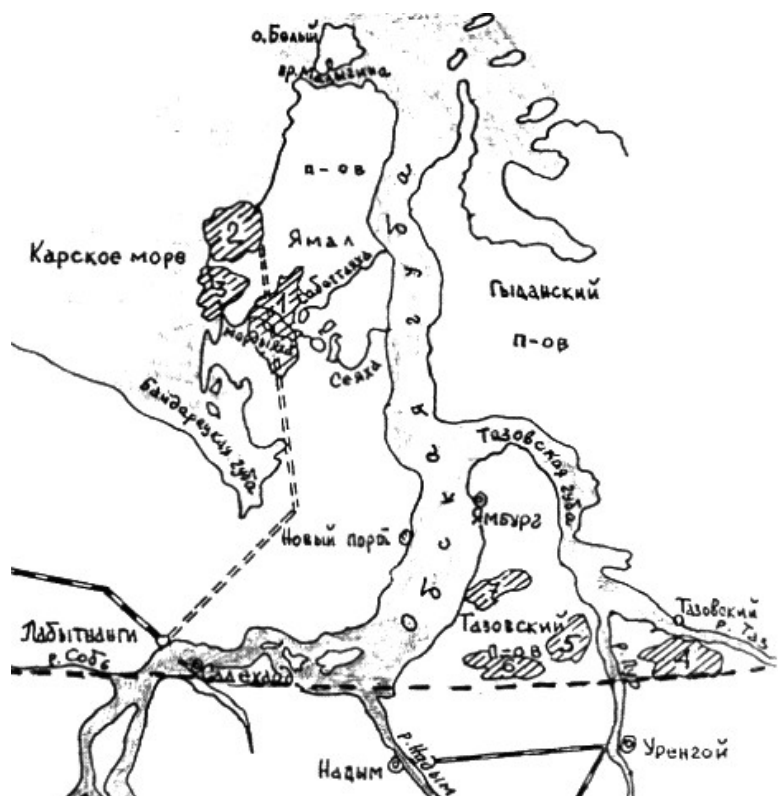


Рисунок 1 – Фрагмент Обского Заполярья с основными месторождениями: 1-Бованенковское; 2-Круzenshternovское; 3-Харасавейское; 4-Тазовское; 5-Пуровское; 6-Юрхаровское; 7-Ямбургское

с территории Обского Заполярья и шельфа Карского моря. Разведанные запасы газа на полуострове Ямал и шельфе составляют более 20 трлн. м<sup>3</sup> (Бованенковское, Хоросавейское, Новопортовское месторождения) – рисунок 1.

Для успешного освоения территории, обеспечения жизнедеятельности сюда необходимо завозить значительное количество грузов из разных районов страны. В настоящее время в пункты Обского Заполярья в основном доставляется каменный уголь, минерально-строительные грузы, контейнеры, продовольственные товары, тяжеловесные и крупногабаритные грузы. Основные пункты отправления по железной дороге: Кемерово, Москва, Пермь, Екатеринбург, Челябинск; через порты перевалки: Тюмень, Тобольск, Лабытнанги, Сургут, Томск, Новосибирск, Омск, Сергино, Междуреченск груз следует в пункты назначения: Урай, Надым, Уренгой, Гыда, Новый порт, Тазовское, Салехард, Ямбург, п. Ямал.

Вся история освоения и развития этого региона связана с деятельностью речного флота. Именно по рекам был доставлен значительный объем необходимых материалов и оборудования, который составил основу современного нефтегазового комплекса.

Важное значение для территории на современном этапе развития имеют речное и морское судоходство. В границах Обского Заполярья находятся крупные морские заливы (губы) Карского моря: Байдарацкая, Обская, Тазовская и Гыданская. Основные водные пути Заполярья в этом районе: река Обь, Надым, впадающие в Обскую Губу, реки Пур и Таз, впадающие в Тазовскую Губу. Реки Ямальского, Тыданского и Тазовского полуостровов имеющие небольшую протяженность с периодом навигации три-четыре месяца. По этим водным путям осуществляется северный завоз грузов.

В районе Обского Заполярья значительное место в системе водных путей занимают участки с морскими режимами судоходства, с выходом на важнейшую в Российской Арктике водную артерию – Северный морской путь, где работают суда разрядов плавания «О» и «М».

В настоящее время основная задача речного транспорта в этом районе состоит в том, чтобы обеспечить северный завоз грузов – топливо, промышленные товары, стройматериалы, продукты первой необходимости. В округе постоянно осваиваются скоростные воздушные суда на воздушной подушке – как альтернатива воздушному транспорту на малых расстояниях.

**Енисейское (Восточно-Сибирское) Заполярье.** Енисейское Заполярье занимает территорию севернее р. Курейки до Карского моря в Северном Ледовитом океане, включает остров Таймыр, устье реки Енисей с крупными портами Дудинка, Игарка и реками Хатанга, Пясины, Большая Хента, Хантайка и Курейка (рисунок 2).



Рисунок 2 – Фрагмент Енисейского Заполярья

Среди многообразия минеральных ресурсов Енисейского Заполярья выделяются значительные запасы полиметаллических и железных руд, каменного угля, золота, известняка, графита, магнетита, слюды, никеля, кобальта, меди, вольфрама, молибдена, мрамора, гранита. Имеются минерально-строительные материалы: гравий, щебень, песок, большая часть которых добывается из речных русел.

Большая часть этих месторождений находится на территории Туруханского района – одного из таёжных и самых больших по территории России. Его площадь 214 тыс. км<sup>2</sup>.

В бассейне реки Курейки зарегистрированы значительные запасы каменного угля,

железной руды, графита, добычу которых можно вести открытым способом. В бассейне реки Хантайки обнаружены месторождения медно-никелевых руд и каменного угля.

Однако многие из зарегистрированных месторождений полезных ископаемых пока не разрабатываются, и крупных промышленных производств пока нет. В Енисейском Заполярье наибольший интерес представляют предприятия городов Норильска и Игарки.

Норильск – город краевого подчинения, самый крупный город Сибирского севера, расположен в Заполярье, на юге Таймырского края, в 90 км от Дудинки на Енисее на «островной» железной дороге Дудинка-Талнах, заложен в 1935 году.

Созданный здесь Норильский горно-металлургический комбинат (НГМК) самый крупный в России флагман цветной металлургии. На его предприятиях производят четырнадцать видов металла.

Комбинат создан на базе Норильского рудного месторождения. На комбинате производится около 70% меди и никеля, до 80% кобальта, подавляющая часть платиновых металлов в России. Попутно извлекаются золото, серебро, селен, сера.

В 1998 г. В бассейне реки Большая Хета было открыто Ванкорское месторождение нефти и газа, которое начало разрабатываться в 2003 году ЗАО «Ванкорнефть» дочернее предприятие «Роснефти».

Для обустройства месторождений Ванкорской провинции требуется значительное количество грузов, которых на месте нет. Район строительства отдален от железных дорог и круглогодичных автодорог с твердым покрытием. Основным способом завоза грузов для строительства промысла и оборудования для промышленной нефтедобычи является использование водного транспорта. Возможные схемы завоза следующие.

1 Северный Морской Путь (Архангельск, Мурманск) до Дудинки в морской порт для судов с осадкой до 8 м и далее по малой реке Большая Хета.

2 Доставка груза судами Енисейского речного пароходства по р. Енисей с июля по октябрь через Лесосибирский порт (Лесосибирск-Прилуки 1382 км) и Красноярский порт (Красноярск – Прилуки 1757 км).

3 Доставка судами Енисейского речного пароходства по реке Большая Хета (430 км от устья).

В настоящее время основной объем грузов, начиная с навигации 2006 года, доставляется по второй и третьей схемам завоза. Работа для пароходства оказывается крайне напряженной, поскольку эксплуатационный период для судоходства по р. Большая Хета составляет 15 суток и завозится туда более 200 тыс. т различных грузов.

Игарка, город краевого подчинения, расположен на берегах Игарской протоки Енисея, в 163 км к северу от Полярного круга. В городе расположен «Игарский лесопромышленный комплекс», который перерабатывает высокосортную древесину в пиломатериал на экспорт и отгружает его в своем порту на морские суда. Грузы в Игарку поступают в основном из Красноярска и Лесосибирска.

Кроме этого производительные силы Енисейского Заполярья развиваются на базе г. Дудинки.

Дудинка, центр Таймырского АО, морской и речной порт, расположен в низовьях Енисея в двух с лишним тысячах километров от Красноярска. В городе работает крупная железнодорожная станция, начальный пункт самой северной в нашей стране железной дороги Дудинка-Норильск-Талнах.

С 1990 года атомный ледокол «Советский Союз» начал проводить транспорт с народнохозяйственными грузами на круглогодичной линии Мурманск-Дудинка.

Кроме этого в Заполярье представляют интерес как потенциальные транспортные пути реки Хатанга и Пясины.

Хатанга крупная река на севере Красноярского Края, впадает в Хатангский залив – моря Лаптевых. Длина р. Хатанга 227 км, судоходна на всем протяжении.

Пясины, крупная река, вытекает из оз. Пясины, впадает в Карское море. Длина реки 818 км, судоходна на всем протяжении.

Самая северная точка Заполярья доступная речным судам – Диксон.

Диксон, поселок городского типа, центр Диксонского района Таймырского АО расположен в устье Енисейского залива на расстоянии от Дудинки в 685 км, работает Морской порт.

Перевозки речным транспортом на север Красноярского Края по номенклатуре различные: топливо, продукты, оборудование.

Через северные порты: Лесосибирск, Игарку, Дудинку, Диксон, Красноярский край с ис-

пользованием речного и морского транспорта ведет торговлю лесом и металлом с ближним и дальним зарубежьем, обеспечивает северный завоз оборудование, топливом и продуктами питания.

**Ленское (Северо-Восточное) Заполярье.** Границы Ленского Заполярья проходят через Жиганск, Хонуу к Северу до Морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. По территории Заполярья протекает множество судоходных рек: устье реки Енисей, реки Яна, Индигирка, Колыма, Оленек, Анабар с притоками (рисунок 3).



*Рисунок 3 – Фрагмент Ленского Заполярья*

Общая протяженность их составляет около 40 тыс. км. В условиях отсутствия развитой сети сухопутных дорог речному транспорту отводится ведущая роль в перевозках грузов. На базе речного транспорта здесь создан единый транспортно-хозяйственный комплекс одной из обширнейших территорий России, который обеспечивает промышленное и социально-экономическое развитие.

Республика Саха (Якутия) является одним из самых богатых по минерально-сырьевым субъектам ресурсам Российской Федерации. На её территории широко распространены различные виды полезных ископаемых, многие из которых являются дефицитными, имеют приоритетное значение для развития экономики России.

Значительная часть этих ресурсов находится на территории Ленского Заполярья. В частности, в Северо-Западной части республики расположена алмазная провинция, которая занимает площадь более 980 тыс.км<sup>2</sup>. На её территории выделены семнадцать кимберлитовых полей. Здесь сосредоточены 82% балансовых запасов алмазов России. На мировом рынке страна от продажи алмазов ежегодно получает около 2,0 млрд. \$.

По количеству разведанных запасов олова Россия занимает первое место в мире. Крупные месторождения расположены на территории Заполярья в междуречье Яны и Индигирки (п. Депутатский с ежегодным объемом добычи 4 тыс. т олова в концентрате), а также в п. Эге-Хая, Батагой и на острове Большой Ляховский Новосибирского архипелага.

Основные запасы сурьмы сосредоточены в Оймяконском и ВерхнеЯнском улусах. Объем ежегодной добычи составляет 12 тыс. т. В районе Надеждинского золоторудного месторождения разведано крупное медно-вольфрамовое месторождение Агылкы. В рудах этого месторождения отмечено наличие серебра, золота, селена и висмута. Запасы основного материала, по предварительным оценкам превышают 100 тыс. т.

Значительное место в угольной промышленности Якутии занимают месторождения, расположенные в районе Заполярья: Таймырское, Жиганское, Зырянское.

Часть из этих месторождений полезных ископаемых по объективным причинам пока не осваиваются в полной мере. Основная причина – отсутствие круглогодичных транспортных связей. Основными путями сообщения в Заполярье остаются водные пути – реки и Северный Морской Путь.

Речной транспорт освоил перевозки по Северному Морскому Пути, связал в общую транспортную сеть все северные реки региона: Лену, Яну, Индигирку, Колыму, Оленек и Анабар. Головной задачей этого транспортного комплекса является завоз грузов в районы Заполярья в объеме годовой потребности.

В перевозках грузов в районе Азиатского Заполярья участвуют мощные буксирные суда пр. 07521 ледового класса, Н3290 ОТ-2400 разряда «О», пр. 428 ОТ-2000 разряда «О», а также массовый буксир средней мощности пр. 1741 и ряд других буксиров, а также грузовые теплоходы пр. 292 типа «Сибирские» разряда «М-СП», пр. 1743 типа «Омские» разряда «М», пр. 2760 типа СТ разряда «О». Основным ядром несамоходного флота, которые выполняют основной объем перевозок в Заполярье, являются баржи пр. 942М разряда «О» для перевозок в речных условиях, эксплуатируются баржи пр. Р-56, 942 и 942А грузоподъ-

емностью 2800 и 1000 т.

Развитие железнодорожного и автомобильного сообщения в Заполярье требует параллельного развития морских и внутренних водных путей. Этому процессу должно уделяться особо важное значение, так как водный транспорт в районах Крайнего Севера и Заполярья на сегодняшний день является основным видом транспорта способным обеспечить эти районы всем необходимым. Транспортная система Севера представлена в основном внутренними водными путями и Северным Морским путем (СМП). Перед этой системой в современных условиях стоят следующие задачи:

- обеспечение северного завоза грузов;
- транспортировка сырья из районов Крайнего Севера и Заполярья;
- развитие международного и внутреннего транзита;
- организация взаимодействия различных видов транспорта.

Основная транспортная нагрузка на территориях Крайнего Севера и Арктической зоны приходится на речной и морской транспорт, причем доля внутреннего водного транспорта в Северном завозе грузов составляет более трёх четвертей от всего объема водных перевозок грузов.

Основные реки Сибири – Лена, Енисей, Обь и Иртыш являются единственными транспортными путями, связывающими транссибирскую железнодорожную магистраль с Северным Морским Путем в меридиональном направлении. Протяженность речных магистралей в этом регионе в четыре раза превышает протяженность железнодорожных и в 11 раз автомобильных дорог.

Использование северного морского пути позволяет морскому транспорту совместно с речным обслуживать порты Арктики и крупных рек Сибири (ввоз топлива, оборудования, продовольствия, вывоз леса, природных ископаемых). Альтернатива Северному морскому пути – транспортные артерии, расстояние, проходимое судами из порта Мурманск в порт Иокогаму (Япония) через Суэцкий канал, составляет 12840 морских миль, то Северным морским путем – только 5770 морских миль. Главное препятствие для прохода судов – лёд. Современное ледокольное обеспечение позволяет, при необходимости, организовать круглогодичную навигацию. Перевозки российского газа и нефти морским путем могут оказаться выгоднее строительства газо- и нефтепроводов. К тому же такие магистральные трубопроводы в Западную Европу могут проходить только через бывшие советские республики, политика которых не всегда предсказуема, а транспортировка через их территорию обходится достаточно дорого. В то же время ледовая обстановка в Баренцевом море и в западной части Карского моря вполне благоприятна и позволяет проходить танкерам ледового класса без сопровождения ледоколами в течение большей части года. Кроме того, по Северному морскому пути можно организовать перевозку минеральных удобрений с Кольского полуострова в Восточную Азию, в Китай.

Тем не менее за последние годы объем перевозок по Северному морскому пути сократился почти в 4,5 раза – с 6,6 млн. т в 1987 г. До 1,5 млн. т в 1999 г. Правда, в дальнейшем прогнозируется его увеличение. В перспективе до 2015-2020 гг. ежегодный объем экспортных перевозок сжиженного газа с полуострова Ямал, по сегодняшним оценкам, может составить 20 млн. т, газового конденсата из района Оби и Енисея – 1-3 млн. т, а нефти из месторождений Тимано-Печорского бассейна – 25-30 млн. т. Это не считая перевозок минеральных удобрений, никеля, леса. Кроме того, с разработкой Россией природных ресурсов Севера будут расти и перевозки машин, и оборудования. Безусловно, эти грузопотоки могут стимулироваться только инвестициями в освоении Севера. При этом важно помнить главное – экономика России в целом без использования ресурсов арктической зоны нормально функционировать не сможет. Тем более что государство уже затратило огромные средства и усилия многих поколений на её освоение. Конечно, многое предстоит восстанавливать и обновлять. Но уже сегодня понятно, что водный транспорт и естественные водные пути экономически выгодный, надежный ключ к природным кладовым Севера, Сибири и Дальнего Востока, запасы которых, по прогнозным оценкам, в XXI веке станут едва ли не основной сырьевой базой планеты.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Заполярье, полезные ископаемые, водный транспорт  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Зачёсов Александр Венедиктович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Рагулин Вячеслав Игоревич, соискатель ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕНЕДЖМЕНТА НА РЕЧНОМ ТРАНСПОРТЕ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.М. Бунеев

**METHODICAL BASIS OF MANAGEMENT OF WATER TRANSPORT**  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
V.M. Buneev

The article contains methodical basis of management of water transport.

*Keywords: water transport, management, methodical basis*

Изложены методические основы менеджмента на речном транспорте.

Термин «менеджмент» получил широкое распространение при переходе российской экономики на рыночные механизмы хозяйственной деятельности параллельно с термином «управление», как синоним. Каждому из них присущи процессы управления в различных функциональных областях: управление производственной деятельностью – производственный менеджмент; управление финансами – финансовый менеджмент; управление инвестициями – инвестиционный менеджмент; управление кадровой работой – кадровый менеджмент и т.д.

Рассматривая процесс управления с позиций системного подхода выделяют субъект и объект управления, которые связаны меж собой внутренними связями, а также находятся под воздействием внешней среды (рисунок).

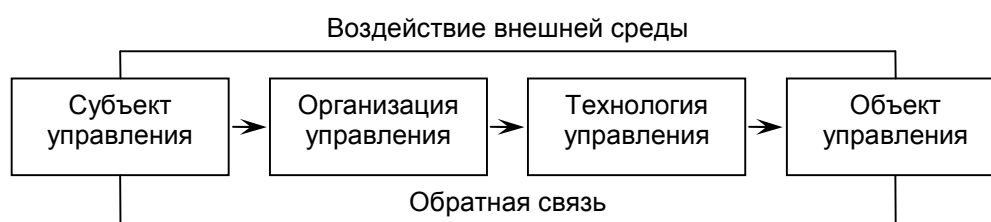


Рисунок – Общая схема системы управления

В этой схеме организация управления представляет собой способ воздействия субъекта на объект управления для достижения поставленной цели с учетом влияния внешней среды, а технология управления – совокупность методов осуществления комплекса управленческих воздействий и их контроля.

Современные тенденции и закономерности развития управленческой деятельности оказывают влияние на области использования терминов «управление» и «менеджмент». Первый из них соответствует государственным (федеральным), региональным, муниципальным и корпоративным формам управления. Понятие «управление» значительно шире понятия «менеджмент». Кроме указанных выше областей управления термин «менеджмент» не применим к управлению социальными системами. Наиболее близкими понятиями являются «управление производством» и «менеджмент». Следовательно, менеджмент имеет более узкую область, чем управление.

Современный менеджмент – элемент рыночной культуры, системы ценностей и убеждений. Его основой являются человеческие ресурсы и предпринимательская деятельность. Важнейшей составляющей менеджмента является мотивация. Носителем мотивации хозяйственной деятельности выступает менеджер (управленец), который осуществляет в организации действия направленные на эффективные преобразования ресурсов и времени в результаты (получение максимальной прибыли).

Таким образом, под менеджментом следует понимать область интеллектуальной деятельности для решения производственных задач с целью получения прибыли на основе соответствующих технологий в условиях современной организации. С этих позиций объектом менеджмента на речном транспорте является эксплуатационная деятельность судоходных компаний и фирм, а также других организаций, осуществляющих транспортный процесс дос-

тавки грузов и перевозки пассажиров.

Важным элементом системы менеджмента являются миссия и цели организации, так как эта система не может существовать без целевых ориентиров. Целое начало в деятельности организации находится прежде всего под влиянием интересов различных совокупностей людей: собственники и сотрудники организации, покупатели, деловые партнеры, местное общество и общество в целом.

Основные составляющие целевого начала: миссия и цели. Миссия представляет собой описание целевых ориентиров, сферы деятельности, а также определенного имиджа организации в представлении внешней среды. В общем виде миссия организации либо предприятия речного транспорта должна включать: определение и завоевание своего места (сектора) на рынке транспортных услуг, расширение сферы деятельности и диверсификация производства, повышение качества услуг при одновременном снижении тарифов, социальные, экологические и другие цели. Так, судоходная компания осуществляет перевозки грузов и пассажиров на определенных направлениях, перегрузочные работы, транспортно-экспедиционное обслуживание и другие виды основной деятельности; стремится к их расширению и повышению качества исполнения транспортных услуг.

Миссия дополняется и детализируется конкретными целями и задачами. Цели должны быть конкретными, измеримыми, гибкими, достижимыми, совместимыми, приемлемыми; по времени – долгосрочные, среднесрочные и краткосрочные. Цели определяются по основным сферам деятельности организации:

- доходы, прибыль, производство товаров и услуг;
- работа с клиентами, качество обслуживания и маркетинг;
- благосостояние сотрудников, мотивация их работы;
- социальная ответственность и благотворительность.

Процессы формирования миссии и установления целей организаций и предприятий объединяются, дополняя друг друга. После завершения этих процессов, установленные цели должны иметь статус закона для организации, ее подразделений и каждого работника. В тоже время не следует их считать неизменными, под влиянием динамизма среды они могут изменяться.

Достижение установленных целей организации осуществляется посредством разработки, принятия и реализации управленческих решений, направленных на выполнение конкретных задач в системе менеджмента. Методической основой для разработки и принятия таких решений является общая теория управления и менеджмента [2]. Системный подход к изучению транспортного и технологического процессов работы технических средств [1], методы планирования работы судоходных компаний и фирм [4], способы взаимодействия видов флота и типов судов в транспортном процессе, теория оперативного управления [3], методы и способы разработки и принятия управленческих решений [3, 5], а также адаптация их к решению эксплуатационных задач речного транспорта [6].

С позиции системного подхода транспортный процесс или судоходная компания представляется как объекты управления, может быть представлен как открытая многоцелевая иерархическая, изменяющаяся во времени, сложная управляемая система с присущими только ей свойствами. Такая система обладает целенаправленностью, критериальностью, комплексностью, динамичностью, оптимизируемостью. Изучение этих свойств и полученные при этом результаты позволяют комплексно решать исследуемую проблему.

Находясь в постоянном движении, система обеспечивает предприятия и организации, а также различные производственные объединения услугами по доставке грузов в различные районы, находящиеся в зоне функционирования воднотранспортной системы (системы более высокого порядка). Такая система может быть построена на базе системного анализа, который основан на изучении, в первую очередь, свойств управляемой системы. Характеризуя их, можно выделить следующие:

- система является, прежде всего, совокупностью элементов, при определенных условиях отдельные из которых могут рассматриваться как подсистемы (системы более низкого порядка);
- наличие существующих связей между элементами и (или) свойствами, превосходящими по мощности связи элементов с элементами, не входящими в данную систему;
- наличие определенной организации, что проявляется в снижении степени неопределенности системы по сравнению с системообразующими определяющими возможность создания системы;

– существование интегративных свойств, присущих системе в целом, но не свойственных, ни одному из ее элементов в отдельности.

Рассматривая задачи эксплуатационно-экономического обоснования организации транспортного процесса при доставке грузов, установлены связи его с другими элементами системы [1]. Входные параметры, определяющие внешние связи системы, устанавливаются на основе спроса на грузовые перевозки. Таковыми являются состав и показатели перевозок, а также характеристики грузовых потоков. Организация транспортного процесса представляет собой способ взаимодействия всех элементов систем (флот; водные пути; порты с перегрузочной техникой, оборудованием, складами и рейдами, а также прочие технические средства) при выполнении грузовых перевозок с минимальными затратами.

В задачах формирования рациональной структуры технических средств речного транспорта [2] она рассматривается как система, состоящая из следующих элементов: транспортный флот; портовые перегрузочные машины, оборудование и склады; средства комплексного обслуживания флота; водные пути и судопропускные сооружения; рейды и их оборудование; судоремонтная база. С другой стороны технических средств является элементом транспортного процесса доставки грузов.

Методический аппарат эксплуатационно-экономического обоснования управленческих решений на речном транспорте содержит математические модели и методы. Моделирование транспортного процесса осуществляется по следующим основным направлениям [2, 3, 6]: рационализация грузовых потоков, оптимальное планирование работы флота и портов, оптимальное планирование технического развития. Реализация экономико-математических моделей с применением методов математического программирования и ПЭВМ позволяет получить научно-обоснованные решения. Важное значение при этом имеет информационная составляющая методического аппарата. Использование информационных технологий для подготовки и обработки исходных данных и нормативно-справочных материалов повышает их достоверность и обоснованность принимаемых решений.

В процессе разработки и принятия управленческих решений в современных условиях хозяйствования приходится учитывать влияние рыночных факторов на результаты их реализации. Основными из них являются неопределенность, риски и конкуренция на рынке транспортных услуг, обусловленная дисбалансом спроса и предложения. Методы оценки неопределенности и риска в деятельности судоходных компаний и фирм изложены в [2, 5].

Разработка управленческих решений направленных на формирование и реализацию системы конкурентных преимуществ судоходной компании является действенным инструментом повышения конкурентоспособности и стабилизации ее положения на рынке транспортных услуг. В работе [3] сформулированы общие принципы решения этой задачи.

Таким образом, методический аппарат разработки и принятия управленческих решений в системе менеджмента на речном транспорте весьма разнообразен. Он базируется на теоретических предпосылках и методологических принципах исследования закономерностей развития и функционирования организационных систем, современных положениях развития экономической теории, математических моделей и методов, научных подходах и оценке эффективности принимаемых управленческих решений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бунеев, В.М. Современные тенденции развития теории организации транспортного процесса / В.М. Бунеев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока: науч. журн. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2003. -№3. -С. 9-17.
- 2 Бунеев, В.М. Стратегия формирования рациональной структуры технических средств речного транспорта: методы обоснования, инвестиции и финансирование / В.М. Бунеев, И.А. Рагулин. -Новосибирск: Сиб. Соглашение, 2002. -184 с.
- 3 Бунеев, В.М. Формирование системы конкурентных преимуществ судоходной компании / В.М. Бунеев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока: науч. журн. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2006. -№1. -С. 21-25.
- 4 Виханский, О.С. Менеджмент / О.С. Виханский, А.И. Наумов. -М.: Высш. шк., 1999. -528 с.
- 5 Зачёсов, В.П. Организация перевозок и работы флота / В.П. Зачёсов, И.А. Рагулин, В.М. Бунеев. -Новосибирск: Новосибир. гос. акад. вод. трансп., 2009. -356 с.
- 6 Зачёсов, В.П. Управление работой флота: учеб. пособие для студентов ВУЗов вод. трансп. / В.П. Зачёсов, И.А. Рагулин. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2008. -305 с.
- 7 Пьяных, С.М. Экономико-математические методы оптимального планирования работы речного транспорта / С.М. Пьяных. -М.: Транспорт, 1988. -253 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** речной транспорт, менеджмент, методические основы  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Бунеев Виктор Михайлович, докт. экон. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»



## **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ТАРЫ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ**

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**А.М. Островский, Т.В. Беляева, Е.М. Бондаренко**

**ECONOMIC INVESTIGATION OF THE POLYMER PACKAGE USING FOR THE HAZARDOUS FREIGHT TRANSPORTATION**  
«Siberian state transport university»  
A.M. Ostrovskiy, T.V. Belyaeva, E.M. Bondarenko

The possibility of the hazardous freight transportation in the polymer package without using wooden boxes is investigated. Annual saving for the shippers and carrier has been determined.

*Keywords: transportation, freight car, economy, polymer package, hazardous freight*

Исследована возможность перевозки опасных грузов в полимерных канистрах без применения деревянных обрешёток. Определена годовая экономия грузоотправителя и перевозчика.

В настоящее время для перевозки химических грузов в основном используется металлическая, стеклянная тара, а также тара из полимерного материала.

Прочностные характеристики последней позволяют использовать полимерные канистры для транспортировки и хранения опасных грузов, наряду с металлическими, без каких-либо ограничений.

Однако, при прочих равных условиях, полимерная тара имеет ряд очевидных преимуществ:

– масса полимерной канистры существенно меньше аналогичной металлической (1,73 кг и 7-8 кг соответственно), что способствует снижению массы тары вагона, а следовательно – увеличению доли груза в статической и динамической нагрузке транспортного средства;

– стоимость полимерной канистры ниже стоимости аналогичной металлической (284 руб. и 800-900 руб. соответственно), что приводит к сокращению затрат грузоотправителя на ее приобретение.

Таким образом, предпочтительность использования тары из современных полимерных материалов для перевозки химических грузов по сравнению с металлической, как с точки зрения эксплуатационных характеристик, так и с точки зрения стоимостных показателей, представляется весьма очевидной.

В соответствии с п.2.1.4 Правил перевозок опасных грузов по железным дорогам, канистры с химическим грузом, независимо от материала, из которого они изготовлены, должны размещаться в вагоне с использованием деревянных ящиков или обрешеток [3].

Однако, теоретические и практические разработки, выполненные авторами, подтверждают возможность размещения и перевозки в крытом вагоне полимерных канистр с опасными грузами без использования внешней тары и обрешетки.

Экономический эффект при устранении внешней тары и деревянной обрешетки возникает у следующих участников перевозочного процесса:

– у грузоотправителя (грузополучателя) – снижение расходов (издержек) на перевозку груза в части приобретения и использования внешней тары;

– у перевозчика – снижение себестоимости перевозок, за счет уменьшения массы тары и увеличения доли груза в статической и динамической нагрузке транспортного средства.

Для выполнения экономических расчётов в качестве примера проведен анализ фактических объёмов перевозок опасных грузов на Западно-Сибирской железной дороге в 2011 г. Грузы классов 1 и 7 не рассматривались, так как способ упаковки этих грузов отличается от способа упаковки остальных опасных грузов. Структура объёма перевозок по классам опасности груза представлена на рисунке 1.

Экономический эффект, связанный с реализацией предлагаемого способа перевозки опасных грузов, логично определять для опасных грузов, наиболее часто перевозимых в крытых вагонах. В связи с этим рассматриваются следующие грузы:

– водорода пероксида водный раствор, содержащий не менее 20%, но не более 60% водорода пероксида (стабилизированный, если необходимо), №ООН 2014, класс опасности 5.1;

- тосолы, №ООН 2810, класс опасности 6.1;
- кислота соляная, раствор, №ООН 1789, класс опасности 8.

При расчёте годового экономического эффекта от внедрения предлагаемого метода перевозки упакованных опасных грузов производится сравнение по стоимостным показателям следующих вариантов:

– I вариант – использование полимерных канистр объёмом 31,5 л производства ЗАО «Завод тарных изделий» в качестве транспортной тары без внешней обрешетки;

– II вариант – использование полимерных канистр объёмом 31,5 л производства ЗАО «Завод тарных изделий» в качестве транспортной тары с внешней обрешеткой.

Алгоритм расчёта экономического эффекта от устранения обрешёток при перевозке упакованных опасных грузов приведён на рисунке 2.

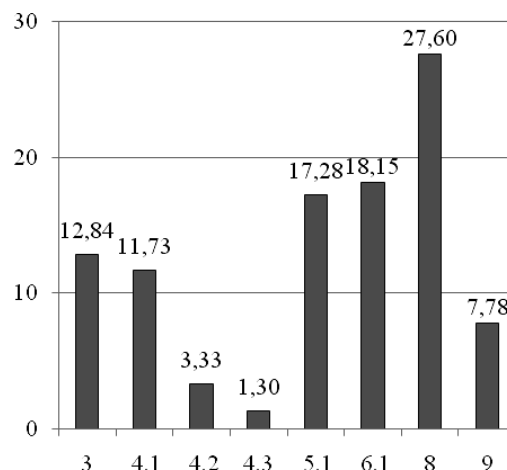


Рисунок 1 – Распределение объёмов перевозок опасных грузов (%) по классам опасности в 2011 г.

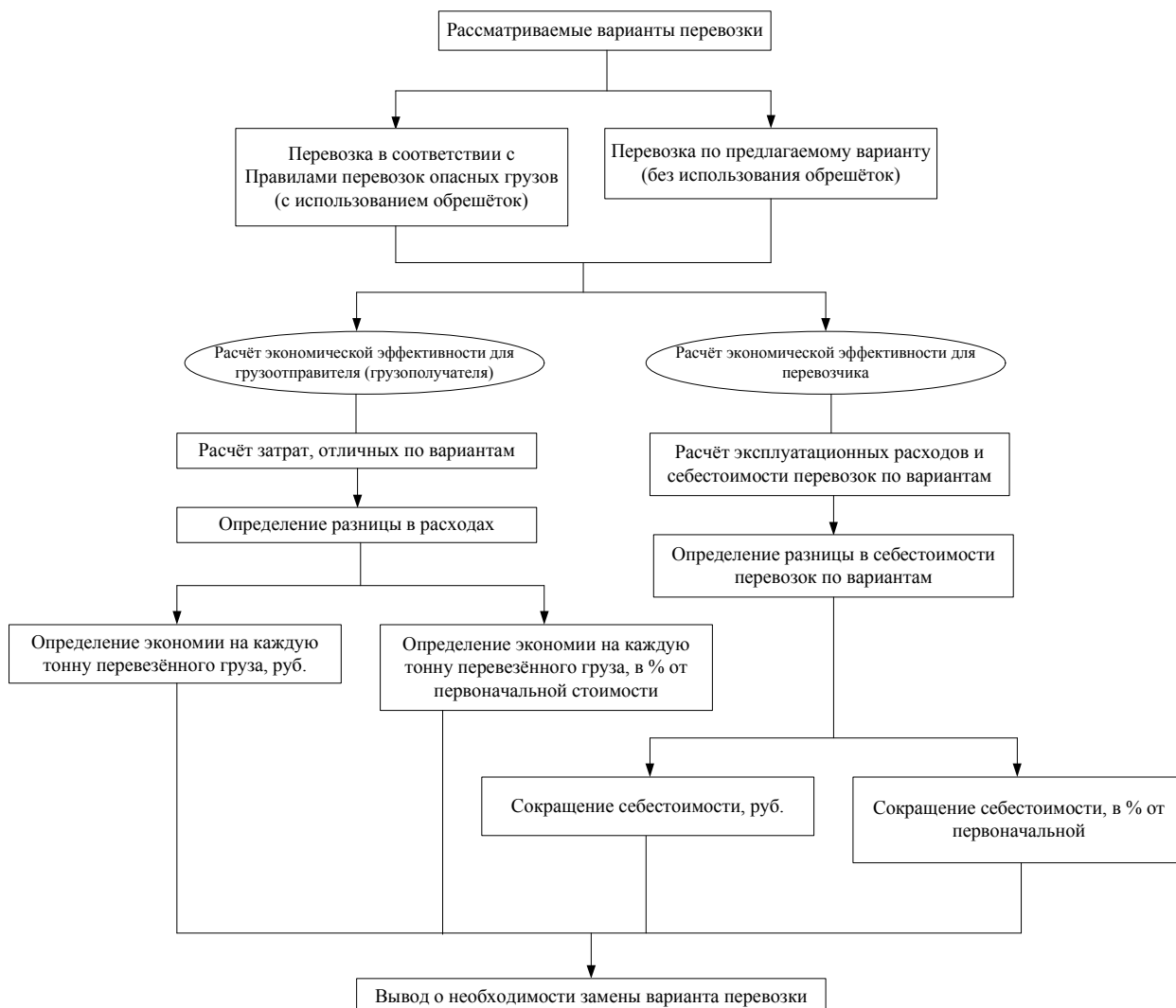


Рисунок 2 – Алгоритм определения экономического эффекта, связанного с устранением деревянных обрешёток при перевозке опасных грузов

Показатели сравнительной эффективности учитывают лишь изменяющиеся части затрат и результатов по сравниваемым вариантам. Поскольку расходы, связанные с выполнением погрузочно-разгрузочных работ (использование погрузочно-разгрузочных механизмов), а также подвозом к пунктам погрузки и вывозом грузов после выгрузки по вариантам не из-

меняются, поэтому в расчетах они не рассматриваются.

**Определение экономической эффективности для грузоотправителя.** При применении первого варианта работы необходимо приобретение дополнительного количества единиц транспортной тары, так как за счет устранения деревянных обрешеток повышается вместимость транспортного средства. Но вследствие большей вместимости требуется меньшее количество транспортных средств, поэтому провозная плата всей партии груза будет меньше, чем по II варианту. II вариант работы с упакованными опасными грузами предполагает меньшие затраты на приобретение транспортной тары, чем по I варианту. Но в то же время появляется необходимость в приобретении пиломатериалов для изготовления обрешеток, увеличении провозной платы, а также дополнительном фонде заработной платы и соответствующих отчислениях на социальные нужды рабочих, изготавливающих обрешетки.

Расчет экономического эффекта по вариантам и видам перевозимого груза показал, что при устранении деревянных обрешёток экономия расходов грузоотправителя составит:

- для груза с №ООН 2014 ..... 13,91%;
- для груза с №ООН 2810 ..... 14,29%;
- для груза с №ООН 1789 ..... 13,45%.

**Определение экономического эффекта для перевозчика.** Экономический эффект от применения предлагаемого варианта перевозки опасных грузов для перевозчика возникает в связи со снижением себестоимости перевозок за счет уменьшения массы тары и увеличения доли груза в статической и динамической нагрузке транспортного средства.

Себестоимость перевозки упакованных опасных грузов для каждого варианта определяется с использованием метода расходных ставок. При использовании этого метода эксплуатационные расходы рассчитываются на 1000 т·км, а себестоимость определяется для 10 т·км нетто.

При расчёте себестоимости перевозок рассматриваемым способом все расходы разделены на группы. Суммированием групп расходов определены общие эксплуатационные расходы, а затраты по каждой группе – путём умножения величин измерителей на соответствующие расходные ставки [6].

Расчётами установлено, что при устранении деревянных обрешёток себестоимость перевозок сокращается на 4,9%.

**Определение совокупного экономического эффекта.** На основании выполненных расчётов определён годовой экономический эффект от устранения деревянных обрешёток по каждому рассмотренному грузу для грузоотправителя и для перевозчика (таблица).

*Таблица – Экономическая оценка предлагаемого способа транспортировки опасных грузов*

Показатель	ООН 2014	ООН 2810	ООН 1789
Тонно-километры брутто за год	91170743,29	110566955,78	65195198,81
Эксплуатационные расходы перевозчика по II варианту (с использованием обрешёток), руб.	22722028,5	27556049,6	16248273,4
Экономия эксплуатационных расходов перевозчика по I варианту (без использования обрешёток), руб.	1113379,4	1350246,43	796165,398
Экономия эксплуатационных расходов грузоотправителя, руб.	10085789,08	15945126,28	7091595,72
Суммарный экономический эффект, руб.	11199168,48	17295372,71	7887761,12
Доля общего экономического эффекта, приходящаяся на участника перевозки:			
– для перевозчика	9,94	7,81	10,09
– для грузоотправителя	90,06	92,19	89,91

Результаты расчетов показывают, что совокупный годовой экономический эффект от устранения деревянных обрешёток при перевозке опасных грузов в полимерной таре в зависимости от тарифной категории груза составит от 7,8 до 17,3 млн. руб. Наиболее выгодно это отразится на работе грузоотправителя, так как на него приходится около 90% суммарного экономического эффекта. Перевозчику также выгодно работать по предложенной технологии, так как себестоимость перевозок сократится на 4,9%, а годовой экономический эффект от снижения себестоимости составит от 0,7 до 1,4 млн. руб.

Таким образом, выполненные экономические расчёты позволяют сформулировать следующие выводы:

- устранение деревянных обрешёток при перевозке опасных грузов в полимерной таре

приводит к увеличению количества грузовых мест, и, следовательно, к увеличению массы нетто груза, снижению коэффициента тары, уменьшению потребности в подвижном составе, сокращению затрат на транспортировку груза;

– себестоимость перевозки 10 т·км упакованных в полимерную тару опасных грузов сокращается на 4,9%;

– экономия текущих расходов при устранении обрешёток в расчете на 1 т груза составляет от 199,10 руб. до 264,79 руб. (13-14% от имеющих место при традиционном способе перевозки) и колеблется в зависимости от класса опасности груза, влияющего на провозную плату;

– экономия текущих расходов для всей партии груза (фактических годовых объёмов перевозок рассматриваемых грузов) составит от 7,8 до 17,3 млн. руб., на отдельно взятой железной дороге;

– использование полимерной тары при перевозке опасных грузов даст экономию транспортных издержек независимо от вида транспорта, при этом будет обеспечен достаточный уровень безопасности перевозок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ГОСТ 2991-85. Ящики дощатые неразборные для грузов массой до 500 кг. Общие технические условия.
- 2 Островский, А.М. Исследование динамических нагрузок на тару при перевозке опасных грузов / А.М. Островский, Е.М. Кучкина // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№1. -С. 70-75.
- 3 Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам. -Новосибирск: Манускрипт, 2010. -584 с.
- 4 Положение по бухгалтерскому учету «Учет основных средств» ПБУ 6/01: приказ М-ва финансов Рос. Федерации от 30.03.2001 г. №26н.
- 5 Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция) / рук. В.В. Косов, В.Н. Лившиц, А.Г. Шахназаров. -М.: Экономика, 2000.
- 6 Журавель, А.И. Себестоимость железнодорожных перевозок / А.И. Журавель. -Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2000. - 304 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** перевозка, грузовой железнодорожный вагон, экономия, полимерная тар, опасные грузы

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Островский Анатолий Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»

Беляева Татьяна Владимировна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»

Бондаренко Екатерина Михайловна, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

## **ФИНАНСОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ: ДО И ПОСЛЕ РЕФОРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

**Е.А. Ивановская, И.Ю. Сольская**

**FINANCIAL INSTRUMENTS: BEFORE AND AFTER THE REFORM OF RAILWAY TRANSPORT OF THE RUSSIAN FEDERATION**

**«Irkutsk state university of means of communication»**

**E.A. Ivanovskaia, I.Yu. Sol'skaya**

In light of the railway reform in the Russian Federation, which is the lifeblood arteries of freight and passenger traffic, it is necessary to focus on the transformation of the structure of financial instruments to manage the newly created organization.

*Keywords: financial instruments, railway transport, reform, financial management, transportation holding company*

В свете реформирования железнодорожного транспорта в Российской Федерации, который является кровеносной артерией грузовых и пассажирских перевозках, необходимо сосредоточить внимание на преобразовании структуры финансовых инструментов, в управлении вновь созданной организационной структуры.

По своему географическому положению Россия существенно отличается от других стран мира и, вследствие чего, ни одна из моделей управления железнодорожным транспортом не может быть принята для железнодорожного транспорта в России.

Российские железные дороги являются ключевым, а в некоторых случаях единственным способом передвижения грузов и пассажиров. Системообразующая роль железнодорожного транспорта подтверждается объемом выполняемых им перевозок: доля этого вида транспорта в 1999 г. составила 81% от грузооборота в России (исключая перевозки трубопроводным транспортом). В системе железнодорожного транспорта занято 1,653 млн. человек, что составляет более 2% трудоспособного населения России. В этой связи реформа железно-

дорожного транспорта играет важную роль для поддержания социально-экономической стабильности в стране и обеспечения роста эффективности экономики.

Глобальная цель структурной реформы в сфере транспорта – обеспечение экономического роста на макро- и микроуровне, создание условий для осуществления инвестиций в высокотехнологичные сферы деятельности при одновременном уменьшении транспортной составляющей в итоговой цене производимой в стране и поставляемой на рынок продукции.

Процесс поэтапного реформирования отечественного железнодорожного транспорта сопровождается постепенным формированием рыночных отношений и конкурентной среды по видам деятельности в составе ОАО «РЖД» в качестве основного (материнского) общества, переходом в соответствии с целевой моделью к образованию холдинга «РЖД» и дальнейшим его развитием по периодам стратегии до 2015 и 2030 гг. [4].

Главной особенностью холдинга является то, что, с одной стороны, он является совокупностью нескольких юридических лиц, а с другой – единым целым, и именно эта особенность оказывает наиболее существенное влияние на систему финансового менеджмента в холдинге // здесь финансовый менеджмент – это процесс управления денежным оборотом, формированием и использованием финансовых ресурсов организации. Под финансовыми ресурсами понимается денежные средства, имеющиеся в распоряжении предприятия и предназначенные для обеспечения его эффективной деятельности, для выполнения финансовых обязательств и экономического стимулирования работающих //.

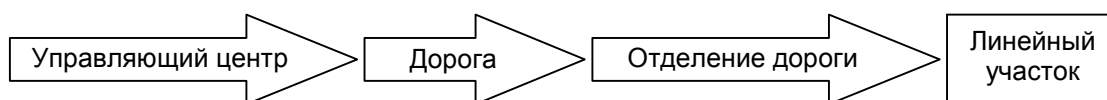
Конкретные формы и методы реализации функций и решения задач финансового менеджмента определяются финансовой политикой предприятия (организации). В рамках единой финансовой политики, разрабатываемой на высшем уровне управления, определяются в глобальном масштабе источники финансовых ресурсов и их распределение в рамках фирмы. В современных условиях главная особенность финансовой политики фирм состоит в комплексном использовании финансовых инструментов, причем в зависимости от конкретных условий преобладающее значение в отдельные периоды может придаваться тому или иному инструменту.

Выделяют три основные категории финансовых инструментов:

- денежные средства (средства в кассе и на расчетном счете, валюта);
- кредитные инструменты (облигации, форвардные контракты, фьючерсы, опционы и др.);
- способы участия в уставном капитале (акции и паи).

Создаваемая корпоративная схема должна учитывать механизм финансовых взаимоотношений материнского и дочернего предприятий и руководство должно располагать эффективными инструментами управления компанией.

До начала процесса реформирования система управления железными дорогами в России носила территориально-отраслевой характер, так называемая 4-х уровневая система (рисунок 1), которая, по мнению российских разработчиков является недостаточно эффективной.



*Рисунок 1 – Система управления железными дорогами в России до реформирования*

При данной системе все финансовые инструменты (денежные и кредитные) управления филиалами были сосредоточены на уровне дороги, а именно:

- на уровне дороги функционировал единый расчетный счет для всех филиалов на уровне данной дороги;
- взаиморасчеты за выполненные работы, оказанные услуги между этим филиалами происходили на внутреннем хозяйственном расчете. Осуществление принципов внутреннего хозяйственного расчета предполагает расширение прав и обязанностей хозяйственных единиц и структурных подразделений, представление им необходимой оперативно-хозяйственной самостоятельности и возможности маневрировать средствами при выполнении планов, в мобилизации внутренних резервов;
- заказы для подразделений и филиалов дороги всегда были гарантированы;
- финансово-экономический механизм представлял собой централизацию всех функций управления, планирование, оплату труда, ценообразование, финансирование, учет, контроль, анализ.

По замыслу программы реформирования 4-х уровневая система РЖД преобразована в 3-х уровневую систему (рисунок 2), в которой само понятие «железная дорога» ликвидируется. Взамен появляется институт управления – региональное представительство Корпоративного центра, которые создано на базе укрупнения нынешних железных дорог [2]. Региональные представительства не должны заниматься непосредственным оперативным управлением хозяйственной деятельностью. В их функции будет входить взаимодействие с местными органами власти, представителями бизнеса и СМИ, обеспечение реализации инвестиционных проектов, анализ и прогнозирование спроса, разработка региональной маркетинговой стратегии и путей достижения конкурентных преимуществ, трансграничное сотрудничество, единая кадровая политика, решение социальных вопросов, организация антитеррористической деятельности и др. [1].

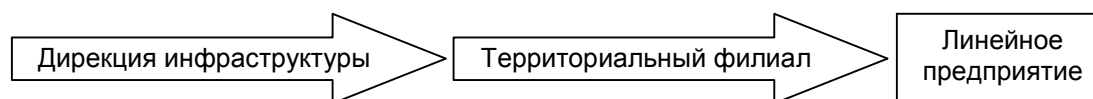


Рисунок 2 – Система управления железными дорогами в России после реформирования

В связи с необходимостью повышения конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках, падение объема перевозок и отсутствие достаточных источников для содержания инфраструктуры требуют принятия не только экстенсивных мер по сокращению расходов, но и повышения эффективности по каждому виду бизнеса ОАО «РЖД». Для достижения этого результата было проведено выделение из состава ОАО «РЖД» ряда дирекций – дочерних филиалов компании с самостоятельным балансом, бюджетом и структурой внутреннего управления.

В соответствии с программой развития железнодорожного транспорта до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 17.06.2008 г № 877-р, дочерние и зависимые организации должны быть экономически заинтересованы в улучшении результатов собственной деятельности, нести за нее экономическую ответственность, обеспечивать управление активами для повышения рентабельности деятельности. В связи с этим следует выделить отдельно задачи дочерних структур, осуществляющих прочие виды деятельности, способствующие реализации и достижения целей транспортного холдинга:

- увеличение предложения объема подрядных услуг и продукции прочих видов деятельности предприятиями, входящих в ОАО «РЖД»;
- оптимизация структуры собственного производства продукции и приобретение ее на рынке для максимизации эффективности;
- повышение эффективности деятельности холдинга в привлекательных и перспективных сегментах рынка прочих видов деятельности для реализации своих потенциал возможностей;
- оптимизация цен на оказываемые услуги участникам холдинга в соответствии с требованиями единой политики и стратегических задач его развития [3].

В развитие данной программы реформирования прошли мероприятия, связанные с государственной регистрацией ДЗО и перечисление на расчетный счет ДЗО на основании заявок Департамента капитального строительства денежных сумм в объеме расчетов потребности оборотных средств, а так же были предусмотрены денежные средства для оплаты уставных капиталов созданных акционерных обществ. Таким образом, акционерные общества являются полноценными дочерними организациями и для поддержания их работы головная компания в лице ОАО «РЖД» в первое время обеспечивала их заказами для выполнения работ.

Следом последовали дальнейшие распоряжение и приказы ОАО «РЖД» о мероприятиях по прекращению хозяйственной деятельности филиалов ОАО «РЖД», на базе имущества которых создано ДЗО о: прекращение деятельности ДЗО от лица ОАО «РЖД», о заключении трехсторонних договоров о переходе к ДЗО прав и обязанностей ОАО «РЖД» по договорам, заключенным ОАО «РЖД» в лице филиалов с третьими лицами. Таким образом до реформирования финансовые инструменты который ранее использовались на уровне отдельной дороги.

Вследствие данных преобразований дороги были лишены своих денежных и кредитных финансовых инструментов управления вновь созданных ДЗО. Однако малая часть содержа-

ния финансового инструмента осталась в виде ежегодного составлений инвестиционной программы с выделением денежных средств для выполнения работ и оказания услуг для нужд ОАО «РЖД» созданными ДЗО и регулированием ценообразования в виде утверждения индексов для расчета стоимости выполняемых работ и оказываемых услуг ДЗО для нужд ОАО «РЖД». Однако такой финансовый инструмент как участие в уставном капитале появился только на уровне головной компании. Таким образом, в результате реформирования большая часть финансовых инструментов перешла непосредственно во вновь созданные ДЗО.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гурьев, А. От видов деятельности – к бизнес-единицам, от четырех уровней к трем с половиной / А. Гурьев // РЖД-Партнер. -2008. -№18. -С. 6-18.
- 2 Каткевич, Г. РЖД: реформа управления [Электронный ресурс] / Г. Каткевич // Транспорт. -2009. -Режим доступа: <http://www.cefir.ru/download.php?id=2143>. – Загл. с экрана.
- 3 Программа развития железнодорожного транспорта до 2030 года: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 17.06.2008 г. №877-р // Собр. законодательства РФ. -2008. -№29, ч.II. -Ст. 3537.
- 4 Система корпоративного управления холдингом «РЖД» в соответствии со стратегией его развития до 2030 г. с учетом требований целевой модели рынка транспортных услуг / М.М. Толкачев [ и др.] // Вестн. ВНИИЖТ. -2008. -№2. -С. 6-12.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *финансовые инструменты, железнодорожный транспорт, реформа, финансовый менеджмент, транспортный холдинг*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Ивановская Екатерина Анатольевна, аспирант ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»  
Сольская Ирина Юрьевна, докт. экон. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»*

## **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ЗАТРАТАМИ ПРОМЫШЛЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

**ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей  
сообщения»  
ОАО «Сибпромжелдортранс»**

**А.П. Дементьев, К.П. Сокол**

### **FUNCTIONAL APPROACH IN COSTS MANAGEMENT SYSTEM FOR INDUSTRIAL RAILWAY TRANSPORTATION**

**«Siberian state transport university»**

**«Sibpromzheldortrans»**

A.P. Dement'ev, K.P. Sokol

Improvement of the cost management mechanism is aimed at the growth of efficiency of industrial railway transportation.

*Keywords: industrial railway transportation, cost classification, cost driver, business process*

Совершенствование механизма управления затратами направлено на повышение эффективности работы промышленного железнодорожного транспорта.

Одним из направлений совершенствования системы управления затратами является разработка классификаторов затрат и на их основе номенклатуры расходов.

С ростом бизнеса и увеличением конкуренции в сфере промышленного транспорта возникает необходимость в объективных и достоверных данных, позволяющих оценить эффективность бизнеса. Такую информацию дает система управления затратами.

Систему управления затратами можно представить в виде последовательных этапов, представленных на рисунке 1.

Целью управления затратами является их оптимизация.

Выделяются два основных направления этого процесса:

– минимизация затрат при заданном объеме деятельности организации;

– максимизация прибыли при заданном уровне затрат.

В качестве объектов затрат выделяются: любая деятельность, продукт (услуга) или структурные подразделения предприятия, которые требуют отдельного измерения затрат. В процессе формирования новых подходов к планированию и анализу расходов в качестве объекта выделяют бизнес-процесс.

Бизнес-процесс – совокупность последовательных действий, которые приводят к решению определенной предпринимательской задачи или совокупность взаимосвязанных функций, которые завершаются созданием продукта (услуги), необходимого потребителю.

Относительно производственной деятельности любого предприятия или компании выделяются следующие группы бизнес-процессов:

– основные бизнес-процессы, на базе которых осуществляется выполнение функций текущей деятельности предприятия по производству продукции или предоставлению услуг;

– обеспечивающие бизнес-процессы, которые создают необходимые условия для основных;

– прочие, направленные на диверсификацию деятельности.

Для таких направлений как бенчмаркинг и реинжиниринг бизнес-процессов обобщение затрат по видам деятельности

необходимо для сравнения полученной величины на аналогичные виды деятельности и бизнес-процессы внутри компании или у конкурентов. В результате на основании анализа затрат их можно оптимизировать, в том числе и по составу. Существенно возросло значение такого объекта затрат, как потребители.

Традиционная система учета затрат дает недостаточно достоверную информацию о рентабельности продуктов, услуг или бизнес-процессов, что в свою очередь влечет за собой ошибочное представление о стратегическом развитии предприятия и путях достижения устойчивого конкурентного преимущества.

Применение функционального подхода в управлении затратами позволяет компании разработать и применить устойчивую стратегию на рынке, а также принимать управленческие решения по:

- формированию конкурентоспособных цен на услуги;
- определению более точной себестоимости отдельных видов услуг, а также стоимости бизнес-процессов (видов деятельности);
- гибкому ценообразованию;
- управлению ассортиментом предоставляемых услуг;
- оценке бизнес-процессов или деятельности каждого структурного подразделения;
- разработке бюджетов организации.

При построении систем управленческого учета и бюджетирования финансовые менеджеры организации сталкиваются с необходимостью разработки классификаторов, в том числе классификаторов затрат. Система классификаторов лежит в основе бюджетных форм и их взаимосвязей, форм отчетности, методов калькуляции, структуры информационных систем.

Комплекс классификаторов является главным звеном системы планирования и бюджетирования, во многом определяющим удобство использования, аналитические возможности, возможность интеграции с другими подсистемами управления компании.

При разработке классификаторов целесообразно:

- использовать несколько признаков классификации в одном справочнике;
- сводить в один справочник разные объекты классификации, если их можно классифицировать по одному признаку;
- строить систему справочников разного уровня детализации в виде дерева.

Формирование отдельных справочников по каждому классификационному признаку позволит более детально анализировать данные и облегчит работу с ними, при минимизации числа позиций справочников. Совмещение в одном справочнике одинаково классифицируемых объектов позволяет уменьшить количество справочников, установить связи между объектами планирования, упрощает формирование отчетности. Прямая связь между справоч-

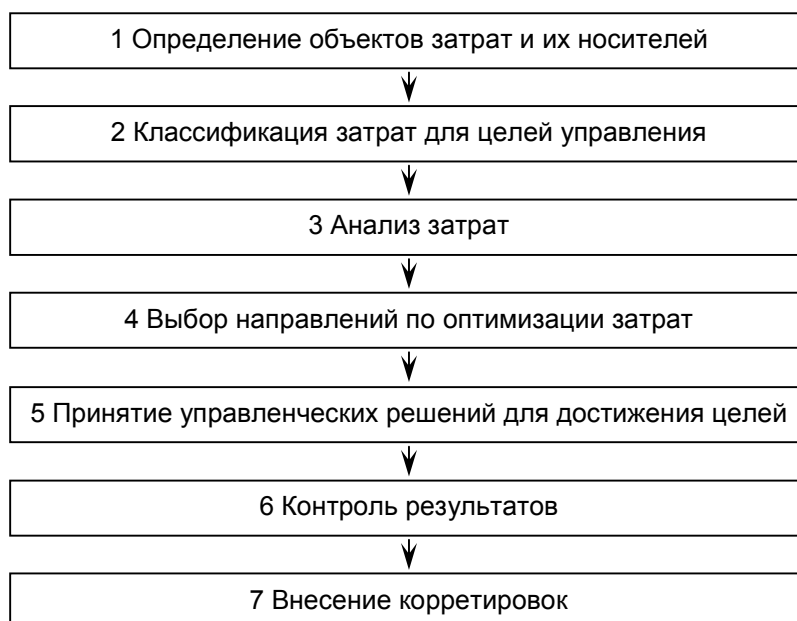


Рисунок 1 – Этапы системы управления затратами



никами, использующими один классификационный признак, также позволяет повысить аналитические возможности информации.

Ключевыми классификаторами являются:

- классификатор сфер хозяйственной деятельности (групп бизнес-процессов);
- классификатор бизнес-процессов (видов услуг);
- классификатор статей расходов;
- классификатор элементов затрат;
- классификатор объектов учета расходов (мест возникновения затрат).

Классификатор сфер хозяйственной деятельности (группы бизнес-процессов) позволяет получать информацию о доходах и расходах в разрезе групп однородных услуг, предоставляемых клиентам. Они определяют прямые источники получения доходов и осуществления расходов.

Классификатор статей расходов позволяет получать информацию о целях расходования ресурсов. В этот классификатор должны включаться все статьи: расходы по текущей деятельности, прочие, капитальные расходы, налоги.

Классификатор элементов затрат позволяет получать информацию в необходимой степени детализации по видам расходующихся ресурсов. Классификатор объектов учета позволяет получать информацию о расходах, прямо связанных с отдельными структурными подразделениями, объектами основных средств.

Классификация затрат должна иметь логическую структуру, допускать добавление новых статей при необходимости.

Для построения номенклатуры расходов организаций промышленного железнодорожного транспорта предлагается использовать комбинированный подход. Затраты, непосредственно связанные с основным производством транспортных услуг, необходимо классифицировать по функциям (бизнес-процессам). Группировка расходов общепроизводственных и общехозяйственных может быть традиционной, используемой большинством предприятий.

Учет затрат по их видам, позволяет

ответить на вопрос, какие затраты возникли в отчетном периоде. Учет затрат по их носителям предоставляет информацию, для чего, в целях производства какой «конкретной услуги» возникли затраты. Учет затрат по местам их возникновения отвечает на вопрос, где возникли затраты, то есть позволяет установить взаимосвязь между первым и вторым элементом и обоснованно отнести все затраты к тем или иным подразделениям или на стоимость тех или иных услуг.

Все бизнес-процессы организации промышленного железнодорожного транспорта можно разделить на три группы. Группировка бизнес-процессов представлена на рисунке 2. В первую входят основные виды деятельности промышленного железнодорожного транспорта, являющиеся источниками доходов.



*Рисунок 2 – Группировка бизнес-процессов промышленного железнодорожного транспорта*

Выделение мест возникновения затрат (МВЗ) может осуществляться несколькими способами в зависимости от целей управленческого учета. Основные принципы классификации МВЗ:

- организационный (место в организационно-управленческой структуре);
- функциональный (по видам деятельности);
- пространственный (географический);
- технологический.

Предлагаемые подходы к классификации затрат могут быть реализованы при разработке Номенклатуры расходов, которая станет инструментом для организации планирования, учета затрат, а также их оптимизации как важнейшего источника повышения эффективности работы предприятия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гаррисон, Р. Управленческий учет / Р. Гаррисон, Э. Норин, П. Брюэр. -СПб.: Питер, 2010.  
2 Шанк, Дж. Стратегическое управление затратами / Дж. Шанк, В. Говиндараджан. -СПб.: Бизнес Микро, 1999.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *промышленный железнодорожный транспорт, классификация затрат, места возникновения затрат, бизнес-процесс*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Дементьев Алексей Петрович, канд. экон. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
Сокол Константин Павлович, зам. генерального директора ОАО «Сибпромжелдортранс»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
630108, г. Новосибирск, ул. Станционная, 18, корп. 1, ОАО «Сибпромжелдортранс»*

## **ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ ТРАНСПОРТНЫХ КОМПАНИЙ**

**ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»**

**А.В. Давыдов, Н.Б. Попова**

### **ORGANIZATIONAL PRINCIPLES OF HUMAN RESOURCES MANAGEMENT IN TRANSPORT COMPANIES**

**«Siberian state transport university»**

A.V. Davydov, N.B. Popova

In contrast with the system of human resources management (HRM) the authors has made an effort to broaden the understanding of the essence of the given system via the integration of its various functions including training, remuneration, employment and dismissal, communication and long-term planning, interdisciplinary programmes, focus on productivity, efficiency, flexibility and information technology that are widely used in planning, analysis and assessment of business activities. Moreover, the author proves that HRM is integrated in the strategy of JSC «Russian Railways» and is a component of the integrated development of railway transport.

*Keywords: human resources management, employees, division of labour*

В отличие от системы управления кадрами, авторами предпринята попытка расширить понимание сущности данной системы с интеграцией различных ее функций включая тренинг, вознаграждение, прием и увольнение, коммуникацию и долгосрочное планирование, междисциплинарные программы, акцент на производительность, эффективность, гибкость, информационные технологии, которые широко применяются в планировании, анализе и оценке деятельности фирм и компаний. Кроме того, показано, что управление человеческими ресурсами (УЧР) встраивается в стратегию компании ОАО «РЖД» и является составной частью комплексного развития железнодорожного транспорта.

Основной задачей управления человеческими ресурсами (УЧР) является наиболее эффективное использование способностей работников в соответствии с целями фирмы, компании и общества. При этом управление человеческими ресурсами включает комплекс взаимосвязанных видов деятельности:

- Определение потребности в рабочих, инженерах, специалистах различной квалификации, исходя из стратегии деятельности предприятия.
- Отбор и адаптация персонала.
- Планирование карьеры сотрудников предприятия, их профессионального и административного роста.
- Обеспечение рациональных условий труда, в том числе благоприятной для каждого человека социально-психологической атмосферы.
- Организация производственных процессов, анализ затрат и результатов труда, установление оптимальных соотношений между количеством единиц оборудования и численно-

стью персонала различных групп.

– Разработка систем мотивации эффективной деятельности.

– Обоснование структуры доходов, степени их дифференциации, систем оплаты труда.

Как видно из рисунка 1, система управления персоналом, его численность, квалификация, затраты на его содержание и оплату труда определяются прежде всего проектом трудового процесса, который в свою очередь должен соответствовать технологии производства и требованиям общества к условиям труда и качеству продукции.

При заданной технологии необходимая компании (структурному подразделению) численность персонала определяется объемом производственной деятельности (перевозок), нормами затрат труда и годовым балансом рабочего времени по общеизвестной формуле:

$$L = \frac{\sum_k P_k H_k}{F},$$

где  $L$  – норма численности персонала данной группы (профессии, уровня квалификации);

$P_k$  – плановый годовой объем перевозок;

$H_k$  – норма затрат рабочего времени персонала данной группы на единицу продукции;

$F$  – годовой баланс рабочего времени одного работника конкретной профессионально-квалификационной группы.

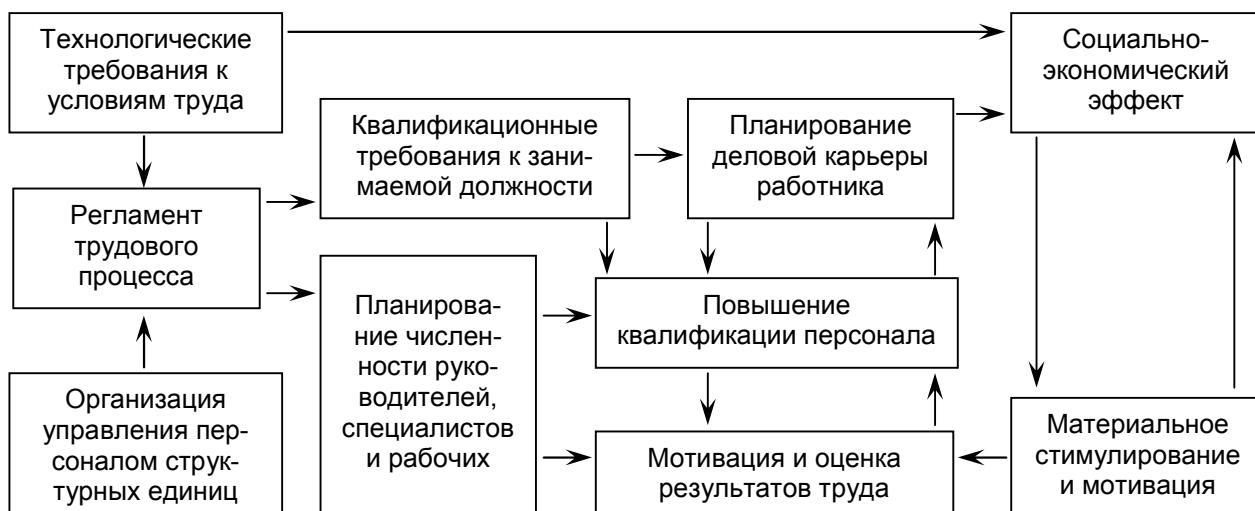


Рисунок 1 – Взаимосвязи организации управления и результативностью компании

Управление персоналом и организацией его трудовой деятельности заключается в определенной системе взаимодействия работника со средствами производства – предметами и средствами труда. Такое взаимодействие зависит:

– во-первых, от технологии и техники производства (деятельности), которые определяют техническую вооруженность труда, степень его механизации и автоматизации, совершенство технологических процессов;

– во-вторых, от таких вопросов организации труда, как: организация рабочих мест, режимы труда и отдыха, подготовка и повышение квалификации работников, применение рациональных приемов и методов труда, результатов и стимулирования труда.

Содержание и характер взаимодействия работников со средствами труда и производства определяется особенностями решения вопросов по некоторым элементам организации труда, а именно:

– хорошо продуманная планировка рабочих мест обеспечивает экономию рабочего времени и физиологических усилий работников за счет сокращения маршрутов их перемещения на рабочем месте, удобства обслуживания оборудования, рациональной рабочей позы;

– рациональные приемы и методы труда способствуют достижению лучшего использования инструмента и оборудования, экономному использованию рабочего времени, обеспе-

чению высокого качества работы, выполнению и перевыполнению норм труда;

- физиологически обоснованный внутрисменный режим труда и отдыха создает условия для выполнения производственных функций (должностных обязанностей) с наименьшими затратами труда при сохранении высокой работоспособности персонала;

- своевременные и высококачественные подготовка и повышение квалификации работников необходимы для обеспечения соответствия уровня квалификации персонала сложности и качеству выполняемых работ.

Практика экономически эффективных компаний позволяет предложить ряд важных принципов, которые легли в основу УЧР (таблица 1).

*Таблица 1 – Основные тенденции развития в развитии УЧР*

Стадия развития компании	Основные характеристики компании	Основные характеристики управления персоналом
Стадия I. Зарождение компании	Компания только создана, Отличается предприимчивостью, управляется собственником	Сводится к ведению личных дел, определению приема и увольнения. Управление персоналом (УП) часто неформальное, размытое
Стадия II. Функциональный возраст	Техническая специализация, расширения функций, производственные линии, процесс и структура формализованы	УП – поиск нужных кадров, тренинг для специалистов. Корпоративная культура еще не стала частью УП
Стадия III. Контролируемый рост	Рациональная администрация, профессионализация управления, диверсифицированное производство, контроль инвестиций	Управляющий персоналом с более высоким статусом, информатизация работы с кадровым потенциалом. УП становится более ориентированной на конечные результаты бизнеса
Стадия IV. Функциональная интеграция	Децентрализация структуры организации, интеграция функций, организационная структура горизонтальная	УП ориентировано на интеграцию различных функций, кооперацию менеджеров. Акцент на эффективность планирования, анализа и оценку деятельности
Стадия V. Стратегическая интеграция	Сотрудничество, групповая культура взаимоотношений, стратегическое планирование и создание центров прибыли. Функциональный менеджмент	УЧР встраивается в стратегию компании, является ее составной частью. Долгосрочное планирование развития человеческих ресурсов. Функция УЧР подчинена президенту компании или его первому заместителю

Среди них наиболее часто отмечаются:

- эффективная система подбора, набора и расстановки кадров;
- система мотивации и компенсации внутренне справедлива и внешне конкурентоспособна, хорошо управляема;
- вознаграждение базируется на результатах индивидуального труда и эффективности организации (группы);
- развитие, обучение, перемещение и продвижение работников осуществляются в соответствии с результатами их труда, квалификацией, способностями, интересами и потребностями организации;
- занятость связана с потребностями бизнеса, индивидуальным уровнем производительности, способностями и квалификацией;
- индивидуальные проблемы решаются быстро, справедливо и эффективно;
- компания только создана, отличается предприимчивостью, управляется собственником;
- техническая специализация, расширяются функции, производственные линии, рынок, процесс и структура формализованы;
- рациональная администрация, профессионализация управления дефицитными ресурсами, покупаются другие фирмы, диверсифицированное производство, усиливается конкуренция за ресурсы, контроль за инвестициями, организация еще фрагментированная;
- диверсификация, децентрализация, структура организации – вокруг производства продуктов и центров прибыли, проектное и матричное управление;
- сотрудничество, групповая культура, межфункциональная, горизонтальная интегра-

ция, способность адаптироваться к частым изменениям, стратегическое планирование, структура формируется вокруг центров прибыли, обслуживаемых местным и функциональным менеджментом и их командами.

Следовательно: УЧР встраивается в стратегию компании и является ее составной частью; систематическое сканирование внешней среды и оценка ее возможного воздействия; активная роль в принятии деловых решений, долгосрочное планирование развития ЧР, акцент на эффективность. Функция УЧР подчинена президенту или его первому заместителю. Главной ее целью является – совмещение наличных человеческих ресурсов (квалификация и потенциал) с корпоративными целями. Развитие целостной и сильной корпоративной культуры и балансирование настоящих и будущих потребностей организованной кадровой функции, вовлекающей линейное управление; от планирования персонала как реакции на производственные планы к планированию человеческих ресурсов, полностью интегрированных с корпоративным планированием.

От инструментализма кадровой функции к стратегической роли УЧР, акцент смещается с подбора и расстановки кадров на интеграцию функции УЧР в формирование и реализацию стратегий бизнеса.

Наконец, организационно-социальная сторона отражает производственное взаимодействие работников друг с другом. Такое взаимодействие осуществляется как по горизонтали (взаимодействие между работниками смежных рабочих мест, а также взаимодействие между основными и вспомогательными работниками), так и по вертикали (производственные отношения между руководителями и подчиненными). Взаимодействие между работниками зависит от:

- форм организации труда – индивидуальной или коллективной, от принятого на предприятии уровня разделения и кооперации труда;
- квалификационного состава и численности персонала;
- организационно-правовой формы предприятия.

Форма организации труда в значительной степени определяет характер и содержание труда, а также порядок взаимодействия между работниками. Так, индивидуальная организация труда основана на установлении производственного задания отдельно каждому работнику, на персональном учете выполненной им работы и начислении заработной платы по результатам этого выполнения. Коллективная организация труда предполагает, что установление производственного задания, учет выполненной работы и начисление заработка ведутся для отдельных подразделений без индивидуальной разбивки для каждого работника. Поэтому при коллективной организации труда, система производственного взаимодействия внутри подразделения определяется конкретными обстоятельствами, возникающими в нем, что дает возможность более гибкого, чем при индивидуальной организации труда, реагирования на них.

Формы разделения труда (функциональное, технологическое, профессиональное и квалификационное разделение) и соответствующие им формы кооперации труда также характеризуют особенности производственного взаимодействия между работниками, создавая для него разные возможности использования труда в зависимости от того, какие формы приняты на предприятии.

При функциональном разделении труда, то есть при обособлении видов трудовой деятельности в зависимости от выполняемых работниками на предприятии функций, взаимодействие, то есть кооперация труда, осуществляется между разными функциональными группами работников, такими, например, как основные и вспомогательные рабочие, рабочие и служащие, руководители и специалисты и т.д.

Технологическое разделение труда на отдельные производственные операции и виды работ влечет за собой необходимость взаимодействия работников, выполняющих разные операции и виды работ. То же можно сказать и о профессиональном, и о квалификационном разделении и кооперации труда.

Из-за того, что издержки на рабочую силу имеют тенденцию увеличиваться, в условиях рыночной экономики необходимо все больше уделять внимания вопросам планирования рабочей силы, пересмотру структуры штатов. При планировании требуемой численности персонала необходимо руководствоваться специальными справочниками, в которых должно содержаться описание всех видов работ и затрат труда, соответствующими выполняемым работам (трудоемкости).

Вполне очевидно, что планирование штатов предприятия – большая научная работа,

представляющая объективность расчетов, анализ различных вариантов и возможность выбора из них оптимального, проведение одновременно с расчетами потребности анализа издержек на рабочую силу с ориентацией на их минимизацию.

Общей целью коллектива является выполнение плановых заданий по производству продукции, доходов, прибыли и на этой базе – получение адекватной заработной платы. Разделение труда по горизонтали с выделением рабочих мест и штатного расписания взаимодействующих структур и работников, а также по вертикали – субординация и подчиненность одних работников другим, порождает социальные отношения между работниками.

Основной функцией трудового коллектива является целевая, то есть производственная, заключающаяся в достижении запланированных результатов производственно-хозяйственной деятельности и получении максимально возможной зарплаты для каждого члена коллектива; наряду с ней имеется еще воспитательная, – и функция взаимного влияния.

Эффективность деятельности предприятия в значительной степени зависит от внутренней сплоченности его коллектива. Значение сплоченности возрастает в связи с переходом на рыночные отношения, с расширением прав и возможностей трудовых коллективов.

Сплоченность выражается в сработанности, сотрудничестве и взаимной помощи в ходе выполнения производственного задания. Чем выше уровень сплоченности, тем выше коллективная производительность труда. Это не значит, что все члены коллектива должны одинаково мыслить, но у них должен быть одинаковый подход к решению трудовых задач, общие нравственные установки и нормы поведения.

Сплоченный коллектив характеризуется стабильным составом, высоким уровнем дисциплины, активностью работников, дружескими контактами между ними в рабочее и нерабочее время, коллективным самосознанием.

Уровень сплоченности коллектива можно оценить по следующим показателям: коэффициенту текучести кадров; количеству случаев нарушений технологической дисциплины, правил техники безопасности и охраны окружающей среды, показателем коллективной производительности труда.

Коэффициент текучести кадров определяется за расчетный период

$$k_{\text{текуч}} = \frac{n_{\text{раб}}^{\text{ве}}}{\bar{n}_{\text{спис}}} 100\% ,$$

где  $n_{\text{раб}}^{\text{ве}}$  – количество уволившихся работников, человек;

$\bar{n}_{\text{спис}}$  – среднесписочная численность работников предприятия, человек.

Нормальное, естественное значение коэффициента текучести равно 2-3%.

Другие показатели ежемесячно регистрируются и в конце года подсчитывается общее число случаев нарушения дисциплины и невыполнения плановых заданий, чрезвычайных происшествий (ЧП) на предприятии и т.п. Сравнение этих показателей с прошедшим годом или за последние 3-5 лет, позволяет сделать вывод об изменении уровня сплоченности на предприятии в лучшую или худшую сторону. Анализ можно углубить, сопоставляя факторы и показатели сплоченности коллектива предприятия с аналогичными показателями других подобных предприятий в отрасли, ведомстве, с зарубежными фирмами и т.д.

К локальным факторам относятся особенности и специфика данного трудового коллектива, которые подразделяются на подгруппы организационных, экономических и психологических факторов.

*Организационные факторы* характеризуют уровень организации производства и труда на предприятии и выражаются в расположении рабочих мест, степени их механизации и автоматизации, бригадной или индивидуальной формах труда, режиме труда и отдыха в недельном и суточном периоде, условиях труда и степени их отклонения от нормальных условий, или свободном пропускном режиме пребывания на предприятии и т.п.

*Экономические факторы* находят свое выражение в действующих на предприятии формах и системах оплаты труда работников, их премировании, системе надбавок, доплат и компенсаций за условия труда, отклоняющихся от нормальных, льготах и привилегиях для трудящихся и членов их семей и т.д.

*Психологические факторы* составляют совокупность факторов социально-производственного информирования, психологического климата и стиля руководства коллективом.



Рисунок 2 – Классификация факторов сплоченности трудового коллектива

При дефиците информации возникают слухи, домыслы, возможна дезорганизация деятельности, возникновение конфликтов. Информирование способствует отождествлению работника с коллективом, формирует у него ответственность за результаты работы, что повышает уровень сплоченности и коллективную производительность труда.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** управление человеческими ресурсами, трудовой коллектив, разделение труда  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Давыдов Анатолий Вячеславович, докт. экон. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
 Попова Наталья Борисовна, докт. геогр. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

## КОММУНИКАЦИОННОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**Е.В. Тюнюкова**

**COMMUNICATION SUPPORT OF STRATEGY OF THE DEVELOPMENT OF RAILWAY TRANSPORT**  
 «Siberian state transport university»  
 E.V. Tyunyukova

The planned complex of communications is focused on increasing of the number of passengers, so the first stage is proposed to organize a single information stream of «Railways», consisting of eight blocks.

*Keywords: complex of communications, communicational strategy, a single flow of information, information blocks*

Планируемый комплекс коммуникаций ориентирован на увеличение численности пассажиров, поэтому на начальном этапе предлагается организовать единый информационный поток ОАО «РЖД», состоящий из восьми блоков.

Принятая Правительством Российской Федерации стратегия развития железнодорожного транспорта до 2030 года в качестве основной цели заявляет «формирование условий для устойчивого социально-экономического развития России, возрастания мобильности населения и оптимизации товародвижения, укрепления экономического суверенитета, национальной безопасности и обороноспособности страны, снижения совокупных транспортных издержек экономики, повышения конкурентоспособности национальной экономики и обеспечения лидирующих позиций России на основе опережающего и инновационного развития железнодорожного транспорта, гармонично увязанного с развитием других отраслей экономики, видов транспорта и регионов страны» [1].

В цитируемом документе сформулированы организационно-экономические задачи, стоящие перед отраслью в целом и приведены контрольные цифры, позволяющие оценить

эффективность решения поставленных задач. Отдельное внимание в стратегии уделено росту объемов пассажирских перевозок, связываемому не только с модернизацией и техническим переоснащением железнодорожного транспорта, но и с ростом деловой активности и повышением реальных денежных доходов населения.

Прогнозируемое увеличение транспортной подвижности населения, безусловно, является положительным моментом в реализации стратегии, однако следует учитывать тот факт, что в условиях рыночной экономики именно выбор потребителя будет определять спрос на транспортные услуги. Поэтому столь важным представляется формирование уникального комплекса продвижения пассажирских перевозок для железнодорожной отрасли, позволяющего не только информировать потребителя обо всех ее предложениях, но и создавать устойчивый положительный образ, обеспечивать лояльность потребителя и накапливать публицитный капитал.

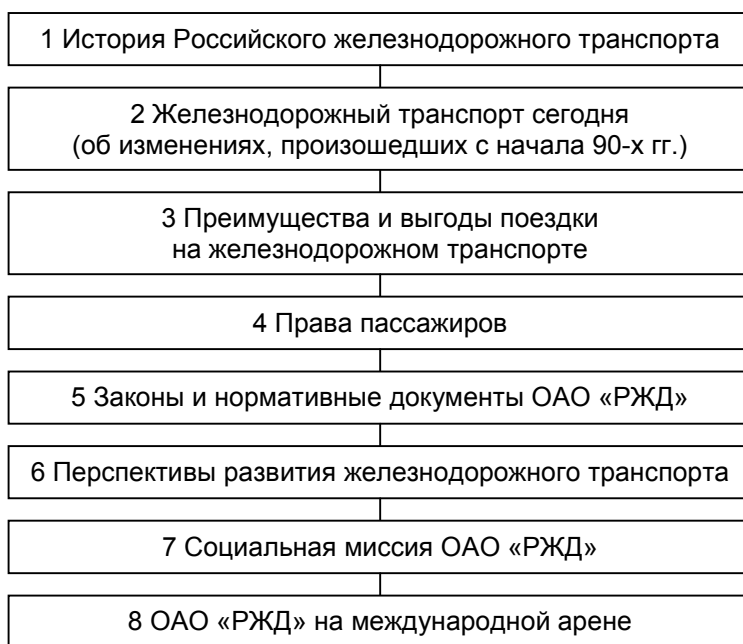
Увеличение численности пассажиров – это безальтернативная экономическая необходимость для отрасли железнодорожного транспорта, тем более, что в качестве одного из рисков развития железнодорожного транспорта с высокой вероятностью возникновения, в стратегии развития железнодорожного транспорта выделено «неспрогнозированное ухудшение демографической ситуации, приводящее к снижению спроса на пассажирские перевозки». Полагаем, что увеличение численности пассажиров как раз и может являться целью предлагаемого комплекса продвижения пассажирских перевозок.

Термин «продвижение» в современной теории и практике менеджмента и маркетинга включает сегодня в себя все виды коммуникаций, используемых организацией при общении с потребителем, поэтому чаще используются словосочетания «маркетинговые коммуникации» и «коммуникационная стратегия».

Проанализируем состояние коммуникационной политики ОАО «РЖД», реализуемой в настоящее время. Существуют конкретные задачи, связанные с развитием отрасли в целом, и, конечно же, существуют решения по информированию населения в контексте рассматриваемых проблем.

В качестве регулярных официальных источников информации об отрасли сегодня можно назвать газету «Гудок», распространяемую только в организациях отрасли; шестнадцать корпоративных изданий; официальное бортовое издание ОАО «РЖД» с оригинальным названием «Саквояж СВ», предлагаемое в пассажирских поездах повышенной комфортности. Вряд ли можно предположить, что 100% жителей Российской Федерации читают эти издания. Но пассажирами и встречающимися становятся многие. По крайней мере, некоторое количество информации получают практически все во время поездки на железнодорожном транспорте, при личном посещении железнодорожного вокзала или через своих друзей и родственников. Поэтому информацию, размещенную в помещении вокзала, внутри вагонов и на предприятиях ОАО «РЖД» можно рассматривать в качестве компонента общей стратегии продвижения.

При формировании комплекса продвижения для ОАО «РЖД» можно воспользоваться подходом, предложенным в [2]. Исходя из стратегической задачи, которую мы видим в увеличении числа пассажиров, можно предложить организовать единый информационный поток ОАО «РЖД». На начальном этапе информацию необходимо скомпоновать в виде отдельных блоков. В каком виде можно представить эти блоки? По нашему мнению, каждый из них должен быть посвящен проблемным вопросам ОАО «РЖД» и представлять интерес для целевой общественности.



*Рисунок – Возможное наполнение информационных блоков*



Основой для формирования блоков являются экономическая и правовая информация, представляющая интерес для неохваченного населения, пассажиров и работников отрасли. Предлагаемые блоки информации представлены на рисунке, причем они расположены в порядке их последовательного воздействия. Такое построение блоков обладает рядом преимуществ: во-первых, постоянная смена тематики компонентов устраняет эффект привыкания; во-вторых, дробление информационного потока является способом повышения заинтересованности целевых потребителей за счет предоставления конкретной информации по разнообразной тематике единой направленности.

Разработка содержательной части блоков должна осуществляться ОАО «РЖД», что может служить гарантией достоверности и реалистичности информации, закладываемой в них. Информация должна обладать некоторой универсальностью для представления ее на разных носителях. Далее разработанные информационные блоки передаются по заранее спланированным коммуникационным каналам и доводятся, в конечном итоге, до потребителя. Таким образом, создается единая информационная система, которая не изменяется в иерархической структуре ОАО «РЖД». Иными словами, каждое региональное отделение отображает всю сформированную таким образом информацию, сохраняя при этом не только содержательную часть, но и жизненный цикл каждого блока. К достоинствам такого подхода следует отнести и единый стиль исполнения блоков, что сделает их узнаваемыми на всей территории РФ. Также необходимо отметить и то, что каждый блок планируется выполнить в виде самостоятельного источника информации. А это значит, что порядок их включения и количество элементов, используемых в процессе коммуникации, не изменяют ее надежности на планируемом промежутке времени.

Выбор длительности воздействия каждого информационного блока определяется как стратегической задачей, так и жизненным циклом самого блока. С одной стороны, блок должен просуществовать достаточно длительное время, чтобы обеспечить максимальную широту охвата целевой аудитории, а с другой стороны – временной предел должен быть ограничен как по экономическим соображениям, так и для исключения «износа» компонента, обусловленного привыканием.

В первом приближении на основе априорных оценок можно предложить следующие длительности блоков с их содержанием:

- блок 1 «История Российского железнодорожного транспорта» ..... 3 месяца;
- блок 2 «Железнодорожный транспорт сегодня  
(об изменениях, произошедших с начала 90-х гг.)» ..... 3 месяца;
- блок 3 «Преимущества и выгоды поездки  
на железнодорожном транспорте» ..... 3 месяца;
- блок 4 – «Права пассажиров» ..... 3 месяца;
- блок 5 – «Законы и нормативные документы ОАО «РЖД» ..... 3 месяца;
- блок 6 – «Перспективы развития железнодорожного транспорта» ..... 3 месяца;
- блок 7 – «Социальная миссия ОАО «РЖД» ..... 3 месяца;
- блок 8 – «ОАО «РЖД» на международной арене» ..... 3 месяца.

Тогда суммарная продолжительность стратегии продвижения составит 2 года. Это не означает, что информационный поток по окончании ее реализации будет прекращен. На следующем этапе он повторится вновь в несколько ином сочетании основных блоков и в измененном наборе компонентов коммуникации. При этом будут учтены вполне возможные неточности в формировании блоков, что позволит при повторе комплекса продвижения существенно снизить расходы и в еще большей степени усилить ее воздействие на целевую потребительскую группу.

Затронутые здесь вопросы представляют собой постановку задачи разработки концепции продвижения пассажирских перевозок ОАО «РЖД» и обозначают направления, которые требуют глубокой детальной проработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Программа развития железнодорожного транспорта до 2030 года: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 17.06.2008 г. №877-р // Собр. законодательства РФ. -2008. -№29, ч. II. -Ст. 3537.
- 2 Тюнюкова, Е.В. Коммуникационные стратегии организации / Е.В. Тюнюкова. -Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2001.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** комплекс коммуникаций, коммуникационная стратегия, единый информационный поток, блоки информации  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Тюнюкова Елена Владимировна, докт. экон. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

## **НЕКОТОРЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В МЕНЕДЖМЕНТЕ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

**А.Я. Якобсон, А.М. Потехина**

### **SOME MODERN TENDENCIES IN RAILROAD TRANSPORT MANAGEMENT**

«Irkutsk state university of means of communication»

A.Ya. Yakobson, A.M. Potiekhina

The main direction of reforms in managing railroad transport in today's Russia is demonopolization. But, paradoxically, it leads to hypercentralization. In the regions, co-ordination between the services subordinate to central directories is very weak. This is what can be called degeographization. Another important feature is domination of authoritarian style in management together with lack of marketing thinking.

*Keywords: demonopolization, degeographization, marketing thinking, authoritarian style in management*

Основным направлением реформ управления железнодорожным транспортом в современной России является демонополизация. Но, парадоксальным образом, она ведёт к гиперцентрализации. Координация на местах между службами, подчинёнными центральным дирекциям, очень слаба. Это явление, которое мы называем дегеографизацией. Другая важная особенность – преобладание авторитарного стиля руководства и нерыночное мышление.

До начала крупномасштабной реформы железнодорожного транспорта в 2003 г. Министерство путей сообщения оставалось едва ли не последним производственным министерством советского типа в новой России. Это означало, что оно сконцентрировало в себе целиком хозяйственное управление соответствующей отраслевой системой.

В советской плановой системе, с её стопроцентной государственной собственностью на средства производства, управление хозяйством было построено по отраслевому принципу, через особые органы управления, они же фактические собственники – министерства. Говоря современным экономическим языком, министерства представляли собой корпорации-монополисты внутри ещё более крупной и сложной корпорации – государства, причём полномочия, делегированные им государством, были огромны.

Экономические реформы 90-х годов многое изменили в хозяйственной системе. Содержание этих реформ можно кратко сформулировать следующим образом. Во-первых, изменяется и усложняется система собственности. Всё большая часть хозяйствующих субъектов переходит в руки негосударственных, частных, не управляемых из одного центра организаций. Во-вторых, взаимоотношения между субъектами становятся всё более рыночными, основанными на конкуренции и товарно-денежных отношениях.

Вторую из названных тенденций можно назвать маркетизацией. Первую передают тремя разными, хотя и близкими словами: разгосударствление, приватизация, демонополизация. Нам представляется, что наиболее точно по сути последнее слово.

В результате на месте нескольких монополизированных и лишь отчасти конкурировавших друг с другом (но одновременно и планомерно взаимодействовавших) рынков транспортных услуг возникли олигополистические рынки авиационных и водных перевозок и рынков монополистической конкуренции в сфере автотранспорта. Один из рынков остался монопольным – железнодорожный.

Однако было (или стало со временем) ясно, что железная дорога как часть национальной экономики не могла существовать в пространстве, отличном от того, в котором жили и действовали другие экономические агенты. В 1997 году тогдашний Премьер-министр С. Кириенко сформулировал стратегическую задачу для отрасли как «создание конкурентной среды внутри естественной монополии». Задача, которую трудно было даже осознать.

Только в 2003 году система начинает немного изменяться. В этом году было организовано акционерное общество «Российские Железные Дороги» (ОАО «РЖД»), призванное выполнять функции хозяйственного управления, в то время как функции Министерства были сведены к стратегической политике. Очень скоро Министерство было включено, на правах Федерального агентства, в Министерство транспорта, которое существовало прежде с аналогичными функциями относительно других видов транспорта.

Государство и после реформы не отказалось от монополии на железной дороге. Но, как и предполагалось в самом начале реформирования, внутри монополии формируется огра-

ниченная конкурентная среда. Всё больше транспортных услуг сосредоточивается в руках частных компаний. Это порождает новые возможности и одновременно новые проблемы, что очень неоднозначно оценивается теоретиками и практиками.

Однако нас здесь больше интересует другой, недекларируемый аспект реформы.

Советская система отраслевого управления была в ряде случаев – и зачастую довольно удачно – территориально организована.

Экономика страны не только представляет собой единое макроэкономическое целое и одновременно список организаций и домохозяйств. Она ещё и положена на карту.

С этим связаны проблемы экономической эффективности, определяемые размещением производства: транспортные издержки, различия в капитальных затратах, планирование поставок, сроки обращения и многое другое. Совершенно разнородные элементы производительных сил формируют на территории уникальные сочетания, конкурируют за местные природные и трудовые ресурсы, иногда кооперируются в их использовании, сталкиваются с местными экологическими проблемами.

При этом не все отрасли одинаково географичны, что сказывается в различных подходах к управлению ими. Управлять строительством, социальной инфраструктурой и, уж конечно, транспортом приходится с учётом огромного количества и широкой разбросанности объектов управления, важнейшей роли местных условий и связей в их функционировании. Поэтому необходимым оказывалось (и оказывается – там, где сохранилось государственное управление) создавать на местах промежуточные уровни управления отраслью.

Железные дороги ещё недавно делились на отделения, с центрами, как правило, на крупных станциях.

В 90-е годы, когда в России было проведено широкомасштабное разгосударствление экономики, изменилась система отраслевого управления. Большинство отраслевых министерств было в связи с этим упразднено, взамен создавались министерства совершенно иной природы, функции которых были аналогичны функциям министерств на Западе, управлявшие не хозяйственной деятельностью, а политикой, стратегией. Одним из них стало министерство транспорта, сменившее отраслевые министерства (только одно из них, как было сказано, просуществовало до 2003 г.).

На железнодорожном транспорте важная современная тенденция – ликвидация отделений внутри железных дорог.

Среди других дорог Восточно-Сибирская уже имеет опыт работы без отделений. Согласно решению Министерства, ещё в 1997 г. в её составе были упразднены отделения дороги (Тайшетское, Иркутское, Улан-Удэнское, Братское, а в 1999 г. и Северобайкальское).

Вместо отделений были организованы так называемые опорные станции – всего около 15, каждой из которых подчинялось по несколько линейных (число и состав опорных станций незначительно изменялись) [2].

Как показал опыт функционирования безотделенческой структуры, в результате реформирования нечётко выразилось взаимодействие с регионами и направленность управления хозяйственной деятельностью, оказалась значительно снижена оперативность при принятии решений. К 2004 г. пришлось вернуться к прежней структуре.

В ходе преобразования ОАО «РЖД» в вертикально интегрированный холдинг изменилась и структура управления всей сетью дорог. В частности, вновь упраздняется отделенческая структура работы [1].

Согласно распоряжению президента ОАО «РЖД» В.И. Якунина (2009 г.), Восточно-Сибирская железная дорога включена в состав пилотного полигона проекта по реализации «Концепции системы управления компании холдингового типа, образуемой в результате реформирования ОАО «РЖД».

Упразднить территориальное управление в макромасштабе и ликвидировать Управление железных дорог никто (пока?) не собирается. Однако их значение, возможности их руководства принимать решения сократились. И это парадоксальным образом взаимосвязано с реформами, которые, по идее, носят рыночный характер и включают в себя демонополизацию.

Реформирование, наряду с передачей некоторых видов деятельности в частную собственность, включает создание в структуре ОАО «РЖД» центральных дирекций, отвечающих за ту или иную сферу деятельности, но в масштабе всей страны.

В качестве примера структурных преобразований рассмотрим функционирование Дирекции управления движением [3]. Производственная структура состоит из трех основных

уровней управления. Второй из них (после центрального) – региональный, в частности, в Иркутске. Начальник региональной дирекции подчиняется как руководству Восточно-Сибирской железной дороги, так и центральной Дирекции. Но основные директивы спускаются ему по второй линии, а подчинение по первой является чисто номинальным и не влияет на принятие решений. Аналогично и с третьим уровнем – станциями.

Подобным образом работают и другие дирекции – Центр фирменного транспортного обслуживания, Федеральная пассажирская дирекция и т.д. Координация между ними на региональном уровне становится всё более слабой.

Таким образом, можно утверждать, что, наряду с демонополизацией, важной современной тенденцией в управлении железнодорожным транспортом становится дегеографизация, ведущая к усилению централизации, в том числе и в первую очередь, в принятии решений.

Вернёмся теперь к другой важной тенденции – маркетизации, то есть внедрению рыночных отношений. Эта тенденция имеет разные аспекты. Проще всего решаются институциональные вопросы: издано постановление, распоряжение, приказ – и вот уже ООО «РЖД» существует как самостоятельный хозяйствующий субъект, создаются частные операторские компании, формируются структуры по управлению маркетинговой деятельностью.

Гораздо сложнее обстоит дело с другим необходимым элементом маркетизации – с перестройкой сознания на рыночные рельсы.

История нашей страны никогда не была историей свободного развития экономики и экономической мысли, как на Западе. Российское государство всегда оставалось тоталитарным и патерналистским.

Основная идея советской экономики – удовлетворение потребностей народа (не спроса!) через тотальное планирование полностью принадлежащих государству предприятий. Ассортимент производства, его объём и потребители были заданы любому экономическому субъекту как обязательный план.

Что было проблемой для такого субъекта, так это снабжение ресурсами, поскольку поставщики очень часто не выполняли (не были в состоянии выполнить), свои планы. Как следствие, снабжаемое предприятие, тоже не могло выполнить свои собственные планы и так далее. Это приводило к тотальному дефициту в обществе, но в сфере продаж никаких проблем не возникало.

Ситуация, когда производитель нуждается в потребителе и потребитель диктует свои условия производителю, нова для страны, которая привыкла к описанной системе. Однако мы видим, что рынок и маркетинговое мышление всё больше распространяются в России, хотя в некоторых конкретных сферах существуют некоторые конкретные трудности, и одна из таких сфер – железнодорожный транспорт.

Очень важен при этом вопрос стиля руководства. Известно, что существуют различные стили руководства, и один из них – авторитарный. Этот стиль основан на строгой иерархии, единоличном принятии решения, строгой дисциплине, коммуникации в форме приказов, мелочном контроле.

Для выяснения уровня рыночного мышления работников современного железнодорожного транспорта были проведены социологические исследования, включающие анкетирование, устный опрос, анализ действующей нормативно-правовой базы. Прежде всего, были выявлены основные факторы неудовлетворенности работников:

- 1) неудовлетворенность работой и условиями труда;
- 2) недостатки принципов управления;
- 3) отсутствие стимулов к повышению производительности труда;
- 4) проблемы организационно-правовой структуры.

Результаты факторного анализа сведены в таблице.

*Таблица – Результаты факторного анализа причин неудовлетворенности работников на железнодорожном транспорте*

Признаки		Факторные веса, %			
		1	2	3	4
Возраст	до 30 лет	21	64	11	4
	31-45	35	37	26	2
	46-50	30	21	39	10
Категория	руководитель среднего звена	27	49	6	18
	специалист	25	28	30	17
	рабочий	34	21	39	06
Образование	среднее профессиональное	21	24	46	12
	высшее профессиональное	25	39	16	20
	аспирантура	21	30	19	30

Для лучшего понимания стиля управления на железной дороге мы опросили 87 рабочих, специалистов и менеджеров среднего звена железнодорожных станций Иркутского отделения ВСЖД. Большинство из них указывает следующие особенности сегодняшней системы управления: жёсткость в принятии карательных мер; отрицательное отношение к выражению собственного мнения; строгое требование выполнять любые приказы без обсуждения; поиск чьей-то личной вины при любом чрезвычайном происшествии; некорректное обращение руководителей с подчинёнными; несправедливая оценка трудовых результатов.

Все эти признаки типичны для авторитарного стиля руководства, граничащего с тоталитарным.

Известно, что авторитарный стиль хорош в случаях, где строгая дисциплина необходима, где нет времени для обсуждений, в то время как личная ответственность лиц, принимающих решения, очень высока. Лучший пример – управление вооружёнными силами, особенно во время войны.

Исследования Р. Лайкерта [4] показали, что в условиях авторитарного стиля руководства можно выполнить вдвое больший объём работы, чем в условиях демократического. Но её уровень качества, оригинальность, новизна, присутствие элементов творчества будут вдвое же ниже. Это означает, что авторитарный стиль хорош для управления более простыми видами деятельности, ориентированными на количественные результаты, в то время как демократический лучше для более сложных видов деятельности, где на первое место выступает качество.

Авторитарный стиль, обеспечивающий максимальную производительность при выполнении простых видов деятельности, позволяет быстро стабилизировать сложную ситуацию. Но он не формирует внутренней заинтересованности исполнителей в результатах труда. Излишние дисциплинарные меры вызывают в человеке страх и злость, подавляют инициативу.

Частично перечисленные условия, делающие авторитарный стиль эффективным, характерны и для железной дороги, но только частично. Конечно, когда речь идёт о контроле движения поездов, это так, по крайней мере, на первый взгляд. Но это не так, когда мы управляем хозяйственной деятельностью железной дороги, то есть железнодорожным транспортом как бизнесом.

Десятилетия милитаризации всей общественной жизни и сознания выработали у нас в стране взгляд на многие сферы деятельности как на филиалы армии. Понятно, что железнодорожники привыкли чувствовать себя почти военными. А те области управления транспортом, которые не выглядели военизированными (например, грузовая и коммерческая работа), представлялись как нечто второстепенное, не определяющее.

Но теперь ОАО «РЖД» – это, по определению, хозяйственная организация. Как у любого другого акционерного общества, её задача – получение прибыли. Сегодня именно хозяйственная деятельность первична, а организация движения – это средство её обеспечения, а не самоцель. В.Г. Галабурда – крупнейший российский специалист по железнодорожному маркетингу – отмечал, что если в плановой экономике транспорт занимался перевозкой грузов, то в рыночной – доставкой [5]. Это глубоко маркетинговая мысль: железная дорога существует не сама для себя, а для обслуживания клиентов-грузоотправителей.

В эту деятельность вписывается и организация движения поездов, оставаясь деятельностью неконкурентной и требующей высокой оперативности, дисциплины и т.д. А вот творческое отношение к работе здесь очень даже уместно и не противоречит названным особенностям.

Таким образом, как показал Б.М. Лапидус [6], отраслевая система управления входит в противоречие с общим экономическим строем в стране. Авторитарный стиль противоречит рыночному мышлению.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ушакова, Е. Отделения уходят в историю / Е. Ушакова // РЖД-Партнер: деловой журн. -2010. -27.
- 2 Глазков, В.С. Железная дорога без отделений: опыт работы Вост.-Сиб. ж.д. по переходу на безотделенческую структуру упр. / В.С. Глазков, А.П. Сурков, В.Э. Каутц. -Иркутск, 1997.
- 3 Концепция создания Дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]. -Режим доступа: rzd.ru.
- 4 Веснин, В.Р. Менеджмент: учебник / В.Р. Веснин. -М.: ТК «Велби»: Проспект, 2004. -504 с.
- 5 Абрамов, А.П. Маркетинг на транспорте: учеб. для вузов / А.П. Абрамов, В.Г. Галабурда, Е.А. Иванова; под общ. ред. В.Г. Галабурды. -М.: Желдориздат, 2001. -329 с.

6 Лapidус, Б.М. Экономические проблемы управления железнодорожным транспортом России в период становления рыночных отношений (системный анализ) / Б.М. Лapidус. -М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 2000. -288 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *отраслевое управление, демополизация, дегеографизация, маркетингизация, рыночное мышление, авторитарный стиль*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Якобсон Анатолий Яковлевич, докт. геогр. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»  
Анна Михайловна Потехина, аспирант ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»*

## **К ВОПРОСУ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБНОВЛЕНИЯ ФЛОТА**

**ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»**

**Ю.И. Платов**

**ON A PROBLEM OF ECONOMIC-MATHEMATICAL MODELING OF UPDATING OF FLEET  
«Volga state academy of water transport»**  
Yu.I. Platov

In article the problem of updating of river fleet with mathematical models is discussed. By means of this tool the choice of optimal types of vessel is made proceeding not only from their efficiency, but also the external and internal environment of the navigable enterprise, including taking into account own and debt funds.

*Keywords: fleet updating, modeling, cash flows, profit, debt funds, strategic planning*

Обсуждается проблема обновления речного флота с использованием моделирования. С помощью этого инструмента производится выбор оптимальных типов судов исходя не только из их эффективности, но и внешней и внутренней среды судоходного предприятия, в том числе с учетом собственных и заемных средств.

Актуальность проблемы обновления транспортных судов речного флота в настоящее время является наиболее острой. Известной причиной является недостаток собственных средств большинства судоходных предприятий и длительные сроки окупаемости новых судов при существующих соотношениях эксплуатационных затрат, в том числе на топливо, фрахтовых ставок и стоимости судов. Как правило, в настоящее время возможно обновление только нефтеналивных судов. Вместе с тем сегодня не существует методологической базы, адекватной современным экономическим условиям и обеспечивающей оптимизацию инвестиций во флот, а в дальнейшем и экономию эксплуатационных затрат.

Эта проблема не является совершенно новой. Более того, технико-экономическое обоснование обновления флота ранее было предметом, как учёных, так и специалистов отраслей водного транспорта в целом [3-7]. Следует отметить, что выбор наиболее выгодных судов самоходного и несамоходного флота по направлениям грузопотоков при определении потребности новых судов осуществлялся регулярно и системно научно-исследовательскими и проектными институтами отрасли, исходя из целей и экономических критериев и методических положений того времени. Такие обоснования были обязательными. Следствием являлась типизация флота и утверждение на уровне отрасли сетки типов судов, наиболее полно отвечающих условиям эксплуатации и характеру транспортной работы, а также и экономической эффективности.

В настоящее время решение этих вопросов является, к сожалению, внутренней проблемой каждой СК, и обновление флота должно осуществляться в основном за счет собственных средств СК, привлечённых инвестиций, заинтересованных кредиторов при определённой государственной поддержке. При этом технико-экономическое обоснование судов в той мере, в какой это осуществлялось ранее, не является обязательной процедурой, что снижает эффективность работы судов и конкурентоспособность речного транспорта.

Естественно, что цели, критерии и методическая база при обновлении флота должны отвечать современным экономическим условиям. Анализ зарубежных, отечественных исследований указывает на то, что оптимальная стратегия технического перевооружения не может быть найдена путём только стандартного анализа отдельных инновационных и инвестиционных проектов и выбора из них лучшего [1, 2, 7, 8]. Выработка оптимальной инвестиционной стратегии должна основываться на отборе из множества исключаящих и дополняющих друг друга проектов. При этом главной целью является стабильное развитие транс-

портного предприятия, а в системе ограничений основную конструктивную нагрузку несет ограничение на поток реальных средств. Такая стратегия может быть выработана на основе динамических экономико-математических моделей [3-7], в рамках стратегического бизнес-планирования.

Эти модели должны учитывать множество факторов как внешней, так и внутренней среды предприятия. Среди них необходимо учитывать следующие:

- наличие существующих судов с их конечными сроками эксплуатации, эксплуатационными и экономическими показателями, включая динамику и увеличение затрат на ремонты по всему оставшемуся жизненному циклу;

- прогнозные объёмы перевозок грузов по направлениям и родам грузов, величины прогнозных фрахтовых ставок, строительную стоимость судов, уровень зарплаты, импульсивные качества судна (корпус, главные двигатели, движитель), а также характеристики вспомогательных дизель-генераторов и котлоагрегатов. Все характеристики судна не выходят за перечень проектных показателей.

На последующих этапах можно рассматривать множество проектов с разными жизненными циклами (судов самоходного и несамоходного флота) с привязкой к схемам транспортировки: река, река-море, море, с перевалкой на ВВП и устьевых портах. Для каждого проекта рассчитывается чистый денежный поток, другие стандартные показатели (окупаемость, внутренняя ставка доходности, и т.д.). Расчет показателей по каждому проекту производится по нескольким вариантам с учетом схемы финансирования (прибыль, кредит, лизинг и т.д. или их комбинаций).

При этом предполагается, что эти проекты могут начинаться в определённой последовательности с привязкой ко времени, диктуемой физическими ограничениями (сроками строительства, производственными мощностями и другими ограничениями).

Прибыль и амортизация, которые являются результатом реализации данного проекта, могут быть использованы на финансирование других проектов, предшествующих данному (погашение кредитов) и следующих за данным проектом.

При реализации модели учитываются все ограничения, диктуемые действующим законодательством, внутренними условиями и договорными условиями на строительство или приобретение судов: ограничения по льготному налогообложению в связи с реализацией проектов, ограничения на чистую прибыль, идущую на воспроизводство основных фондов, ограничения на кредитное финансирование, бюджетное финансирование и т.д.

На основе моделей могут решаться следующие задачи:

1 Освоение по каждому году прогнозных перевозок грузов с учетом выбывающих и вновь строящихся судов. Задача может решаться в двух аспектах:

- В первом случае целевой функцией является оптимизация итоговых денежных потоков за заданный прогнозный период. В итоговые потоки включают чистую прибыль, потребность в инвестициях (заемные и собственные средства, оплата кредитов, льготное налогообложение, а также возможные бюджетные средства).

- Во втором случае итоговые потоки денежных средств за заданный период являются производными, то есть могут быть и отрицательными. Тогда определяется величина недостатка инвестиций при заданной программе.

2 Освоение максимально возможных объемов перевозок (на всех или отдельных грузопотоках) по каждому году с учетом выбываемых и вновь строящихся судов. При этом итоговые потоки денежных средств за расчетный период (или рентабельность) должны быть не менее заданной величины. В этом случае при недостатке средств находится убывающая динамика объемов перевозок по наиболее выгодным направлениям.

3 Одновременное решение первой и второй задач по отдельно указанным грузопотокам.

Конечными целями решения задач являются:

- прогнозирование объёмов перевозок по отдельным родам грузов и направлениям перевозок с учетом выбытия действующих и вновь вводимых судов при имеющихся и выделенных ресурсах;

- определение перспективной потребности в судах с учетом максимизации денежных потоков при заданных ограничениях;

- определение эксплуатационных и экономических показателей по годам заданного периода (потоков денежных средств, провозной способности), потребности инвестиций по годам заданного периода с учетом собственных и привлеченных средств.

Практически этапность решения проблемы стратегического планирования обновления флота является следующей.

*Первый этап* по существу является классическим или традиционным по отбору инновационных и инвестиционных проектов. На этом этапе по каждому проекту с учетом эксплуатационных характеристик и условий плавания рассчитываются стандартные показатели на прогнозируемых грузопотоках с привязкой к схемам транспортировки: река, река-море, море, с перевалкой на внутренних водных путях и устьевых портах. В результате определяется рациональная сфера использования самоходных и несамоходных судов нового поколения по показателям эффективности и производится выбор оптимальных схем перевозок по выбранным типам самоходных и несамоходных судов и их провозная способность. По анализу показателей отбираются наиболее перспективные типы судов по каждой оптимальной схеме перевозок.

На *втором этапе* на основе динамической модели собственно определяется стратегия обновления флота с учетом целей и критериев, упомянутых ранее. Методические основы реализации изложенного подхода освещены в работе [9], а динамическая модель была разработана в диссертации [10] под руководством автора статьи.

В результате использования этой модели судоходное предприятие может разработать оптимальную стратегию, обеспечивающую при прочих равных условиях экономию, как долговременных инвестиций, так и эксплуатационных затрат.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Арженовский, С.В. Экономико-математическое моделирование динамики фирмы. Инвестиционный аспект / С.В. Арженовский. -Новочеркасск: НГТУ, 1998. -96 с.
- 2 Данилин, В.И. Экономико-математическая модель развития корпорации / В.И. Данилин // Рос. экон. журн. -1997. -№10.
- 3 Пантин, А.А. Методические основы разработки программ пополнения транспортного флота и оценка ее экономической эффективности / А.А. Пантин // Тр. ЦНИИМФ. -М.; Л. -Вып. 102. -С. 3-14.
- 4 Пашин, В.М. Математическая модель задачи оптимизации пополнения рыбопромыслового флота / В.М. Пашин // Судостроение. -1971. -№5. -С. 7-10.
- 5 Пашин, В.М. Учет влияния серийности постройки судов при оптимизации пополнения флота / В.М. Пашин // Экономические проблемы стандартизации в судостроении. -Л., 1974. -С. 118-125.
- 6 Пашин, В.М. Математическая модель задачи оптимизации пополнения и предварительного размещения заказов флота / В.М. Пашин // Вопр. судостроения. Сер. I. -Л., 1977. -Вып. 13. -С. 3-11.
- 7 Союзов, А.А. Организация и планирование работы морского флота / А.А. Союзов. -М.: Транспорт, 1979. -416 с.
- 8 Пакеты программ: COMFAR III EXPERT, Project Expert, Альт-Инвест (Excel), PROSPIN, Инвестор, Тео-Инвест, Инвест-Проект.
- 9 Самсонов, Р.И. Методические основы стратегии обновления флота (строительство, модернизация) / Р.И. Самсонов, А.Г. Малышкин, Ю.И. Платов // Наука и техника на речном транспорте. -2001. -Вып. 9, -С. 15-21
- 10 Самсонов, Р.И. Разработка стратегии обновления и использования речного грузового флота: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Р.И. Самсонов. -Н.Новгород, 2004. -24 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** обновление флота, моделирование, денежные потоки, прибыль, заемные средства, стратегическое планирование

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Платов Юрий Иванович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 603950, г. Н. Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РОССИИ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей  
сообщения»

**Т.А. Владимирова**

### INNOVATION DEVELOPMENT OF THE TRANSPORT NETWORK IN RUSSIA

«Siberian state transport university»

T.A. Vladimirova

The paper presents the necessity of innovation development of the transport industry in Russia aimed at ensuring its strategic interests in the global market of transport services.

*Keywords:* transport network, national innovation system, conception, strategy, policy, reliability, variety, government assistance

Показана необходимость инновационного развития транспортной системы России для обеспечения ее стратегических интересов на мировых рынках транспортных услуг.

Во второй половине XX в. многие экономисты исповедовали технологический оптимизм. Полагали, что совершенствование технологий приведет к их широкому распространению и выравниванию жизненного уровня населения различных регионов мира, а наука превратит-



ся в производительную силу, обеспечивающую повышение качества жизни. Однако уже на рубеже 90-х гг. стало ясно, что этим оптимистическим прогнозам не суждено сбыться. Совершенствование технологий и возникновение научно-организационных технологий следующего порядка (технологии создания технологий) привело к противоположному результату: разрыв в уровне жизни увеличился, возникло представление о «конченых» странах [1].

Вывоз капитала и отъезд квалифицированной части населения в ряде стран приобретает такой размах, что они лишаются внутренних источников развития. Возникает «технологический занавес»: страна не может эффективно освоить новые технологии и технологическая независимость утрачивается навсегда, страна становится «конченой». «Конченная» страна может даже обладать значительными природными ресурсами, но она не в состоянии ими воспользоваться в полной мере, и их разработка передается транснациональным корпорациям (ТНК).

В качестве претендента на «конченую» страну совершенно справедливо называют Россию [1]. Ее природные богатства оцениваются экспертами чрезвычайно высоко, но значительная их часть уже принадлежит ТНК и замкнута на воспроизводственные контуры, обеспечивая доход другим странам. Возникает задача перехода России к «новой экономике», в ведущих отраслях которой добавленная стоимость многократно превышает стоимость сырья (отрасли высоких технологий), и к формированию эффективной инновационной системы. В новую систему отраслей должен быть включен и транспорт как ее активный элемент.

Л. Гохберг присваивает новой экономике следующие основные характеристики: динамика и качество экономического роста все сильнее зависят от технологических сдвигов на базе инноваций; происходит ускорение технологического прогресса, сокращаются жизненный цикл продуктов и услуг и, особенно, сроки проведения исследований, разработок и внедрения инноваций; новая экономика – сетевая, в которой взаимосвязи выполняют системообразующую роль [2, с. 26-27].

Знания и инновации в развитых странах становятся важнейшим ресурсом, обуславливающим экономический рост, уже в 1990-е гг. В России в этот период наблюдается сокращение научно-технической сферы. Экономический рост, начавшийся в России в 1999-2000 гг., был достигнут за счет наращивания экспорта сырья в условиях роста мировых цен на него. Инновационная активность и инновационная деятельность в стране остаются на низком уровне, и одна из важнейших причин – стагнация в национальной инновационной системе (НИС), несмотря на активное продвижение бренда «инновационная экономика». Инновационная деятельность в институциональном аспекте регламентирована, на наш взгляд, весьма слабо. Наиболее полно проблемы институционального аспекта инноваций представлены в трудах Д. Норта. Его главный тезис заключается в том, что институты прямо или косвенно влияют на знания и технологии; именно механизмы реализации инноваций, сформировавшиеся в инновационных системах, содействуют конкуренции и обуславливают экономическое развитие [3].

Изучение публикаций о характере инновационной деятельности в России позволяет говорить о том, что: мировой инновационный рынок закрыт для России; инновации в промышленности ограничиваются традиционными видами и распространяются на внутреннем рынке; чувствительность промышленности к передовым инновациям слаба; уровень инновационной активности предприятий весьма низок; многие инновации слишком «пионерны» и опережают текущие потребности и финансовые возможности потенциальных потребителей. Следовательно, применительно к России можно говорить о специфическом затяжном инновационном кризисе.

В качестве позитивного момента в НИС России стоит назвать увеличение числа малых инновационных компаний, являющихся достаточно эффективной формой реализации идей для ученых и инженеров. Российские инновационные компании представляют собой небольшие хозяйственные структуры, занятые разработкой новых технологий, созданием опытных образцов и осуществлением мелкосерийного производства. Они не могут тиражировать новые продукты, и вынуждены заниматься продажей идей и технологий, что не дает устойчивой прибыли. В результате новые российские технологии используются иностранной промышленностью для завоевания новых сегментов инновационного рынка, а затем тот же продукт попадет в Россию путем импорта. При такой тенденции Россия может стать донором высоких технологий для мировой экономики. Большинство специалистов в области инноваций отмечают, что Россия имеет высокий инновационный задел во многих отраслях знаний и технологий и абсолютно неэффективный механизм его использования [4].

На наш взгляд, состояние и эффективность НИС следует оценивать во взаимосвязи: инновационные институты – инновационные механизмы – инновационная политика. В последнее время появились публикации, посвященные проблемам формирования механизмов активизации инноваций в сфере производства. Однако глубоких теоретических исследований в области инновационных механизмов в экономической литературе весьма мало, а определение инструментов финансирования инноваций – еще одна открытая тема.

При активном обсуждении вопроса о формировании финансово-организационного механизма инновационного бизнеса особо выделяется роль нормативно-правовых актов в инновационных процессах. Специалисты говорят о необходимости проведения мероприятий (институциональных), повышающих активность инновационных компаний и не требующих бюджетных ассигнований. Действительно, такие мероприятия при их встраивании в инновационную политику могут дать значительный эффект. В России формирование современного представления об инновационной политике на государственном уровне началось с 1996-1997 гг., когда федеральные органы власти приступили к разработке проектов правовых документов, направленных на поддержку и развитие инновационной деятельности.

Наиболее удачным документом оказалась первая Концепция инновационной политики Российской Федерации (1997 г.). Все последующие проектные документы на эту тему (до 2002 г.), включая проект закона РФ «Об инновационной деятельности и государственной инновационной политике» (на который Президент наложил вето), к сожалению, были хуже. Вследствие выхолащивания, а зачастую и потери сути категории «инновации» и производных от нее понятий, оказалось, невозможно определить предмет инновационной политики и ее отличие от научно-технической политики [5].

Искажалась, по мнению специалистов, суть инновации, неверно встраивались причинно-следственной связи: первичной должна быть общественная потребность, выражаемая через механизм рынка и государственный заказ, и только на этой основе могут предлагаться средства реализации (удовлетворения соответствующих потребностей) путем использования нововведений, то есть развиваться инновационный процесс, а никак не наоборот. Следствием такого искажения явилось отождествление инновационной и научно-технической политики. При единстве стратегической цели – конкурентоспособная российская экономика, высокий уровень жизни населения и национальная безопасность – эти политики должны различаться стратегическими задачами и способами их решения [5].

Цели и приоритеты, которые формулировались в проектах правовых актов до 2002 г., были несостоятельными. Существенным продвижением в названном направлении стал документ «Основы политики Российской Федерации в области науки и технологий на период до 2010 г. и на дальнейшую перспективу», утвержденный Президентом РФ 30 марта 2002 г. [6].

К числу важнейших позиций данного документа, касающихся инновационной политики, следует отнести следующие положения:

1 Целью государственной политики в области развития науки и технологий является переход к инновационному пути развития страны на основе избранных приоритетов (п. 7).

2 Для достижения указанной цели должны решаться задачи: создания организационно-экономического механизма для повышения востребованности инноваций отечественным производством; обеспечения опережающего развития фундаментальной науки, важнейших прикладных исследований и разработок; совершенствования нормативно-правовой базы научной, научно-технической и инновационной деятельности; адаптации научно-технического комплекса к условиям рыночной экономики; обеспечения взаимодействия государственного и частного капитала в целях развития науки, технологий и техники; рационального сочетания государственного регулирования и рыночных механизмов, мер прямого и косвенного стимулирования научной, научно-технической и инновационной деятельности при реализации приоритетных направлений развития науки, технологий и техники (п. 8).

3 Важнейшие направления государственной политики в данной связи – совершенствование государственного регулирования в области развития науки, технологий и техники; формирование НИС как части экономической политики государства (причем НИС должна обеспечить объединение усилий государственных органов управления всех уровней, организаций научно-технической сферы и предпринимательского сектора экономики в интересах ускоренного использования достижений науки и технологий в целях реализации стратегических национальных приоритетов (п. 9, 18). Формирование НИС предполагает создание благоприятной экономической и правовой среды, построение инновационной инфраструктуры,

совершенствование механизмов государственного содействия коммерциализации результатов исследований и разработок.

Ключевые позиции данного документа связаны с определением основных мер государственного стимулирования научной, научно-технической и инновационной деятельности в приоритетных направлениях развития науки, технологий и техники в части финансов: финансирование за счет федерального бюджета научных и прикладных исследований и разработок; поиск и эффективное использование внебюджетных источников для финансирования НИОКР; обеспечение государственной поддержки наукоградов за счет бюджетов всех уровней; стимулирование развития малого научно-технического и инновационного предпринимательства, включая поддержку за счет бюджетов всех уровней инфраструктуры малого бизнеса.

С 1990-х гг. в государственной инновационной политике западно-европейских стран (Великобритания, Бельгия, Дания, Германия и др.) большое значение приобретает стимулирование инновационной деятельности – как научно-исследовательской, так и технологической кооперации. Государство при этом выступает в качестве брокера между сферой НИОКР и фирмами.

В качестве прямых мер можно назвать снижение цены капитала (использование общих систем субсидирования или льготного налогообложения НИОКР), а также облегчение доступа к нему (развитие венчурного капитала, фондовых рынков). В Западной Европе в целях стимулирования инновационной деятельности в промышленности большое распространение получили низкопроцентные займы. Либерализация финансовых рынков дала возможность привлечь нетрадиционные источники финансирования – институциональные (пенсионные фонды) и средства частных лиц, заинтересованных в прямом инвестировании своего капитала в перспективные предприятия. В результате значительно вырос объем венчурного финансирования. Кроме того, государство помогает инновационному бизнесу и косвенными методами, например, через сферу образования (подготовка профессиональных кадров и формирование управленческих консультативных служб, создание научно-технической инфраструктуры) [7].

Кризис НИС в России проявляется и в недостаточном финансировании инноваций из федерального бюджета. Задача определения приоритетов в государственной инновационной политике пока не решена. Не считаются приоритетными принципиально важные инновации, связанные с принятием и реализацией решений в стратегически важных отраслях, к которым в первую очередь можно отнести транспорт.

Во времена зарождения «Кремниевой Долины» в Калифорнии в первой половине XX в. цикл технологических поколений составлял 15-20 лет. Сейчас, даже если фирмам удастся максимальное присвоение прибавочной стоимости, та или иная технология зачастую теряет свою рыночную актуальность через 3-4 года, успев в лучшем случае окупить расходы на разработку [8]. Возросшая частота смены инновационных поколений, ее конвейерный характер становится объективной реальностью, обуславливая необходимость формирования систем гибкого управления инновационной экономикой, минимизации инерционных компонент в принимаемых решениях и проектах.

Гибкое управление может стать одним из важных факторов адаптации в условиях глобализации и конкурентной международной борьбы, обеспечивая замену не исчерпавших свой потенциал инноваций новыми технологиями. Данная проблема может быть представлена как аналог задачи нахождения оптимального момента (в терминах теории управления – «точки переключения») замены старого оборудования на новое. Можно работать на физически и морально устаревшем оборудовании либо в определенный момент времени изыскать средства на покупку нового, более эффективного оборудования.

Например, на российском железнодорожном транспорте идет постоянное совершенствование технологических компонент, однако достаточно очевидно, что этот транспорт в его сегодняшнем состоянии уже не является инновационной технологией XXI века. Слишком много у него конкурентов не только со стороны других видов транспорта, но и в самой классической системе «рельс-колесо». Стало понятно, что рельс по своей конфигурации и технологическому исполнению не обязательно должен быть таким, каков он на данный момент, плотно со шпалами (от них тоже возможен отказ) не обязательно должно лежать на земле, сам путь не обязательно должен «вписываться» в ландшафт местности, следуя ранее проложенным лошадиным дорогам и тропам. Большие претензии с позиций современных технологий, материалов, производственных возможностей предъявляется и к подвижному со-

ставу, а потому – и к технологиям его обслуживания, особенно в пассажирских перевозках.

Уже появились поезда на магнитном подвесе, все больше информации поступает об эстакадных видах транспорта, новых разработках в области дирижаблестроения и т.д.

Покупка Россией скоростных поездов, выполненных по «классическим» технологиям столетней давности, не решит ее транспортных проблем (высокие эксплуатационные затраты, использование труда сотен и сотен тысяч работников разных специальностей и квалификации, высочайшая капиталоемкость путевой структуры и подвижного состава, сложная и дорогая система управления и т.д.). Инерционность существующей системы транспортного хозяйства страны столь велика, что нельзя в одночасье уволить большую часть работников без социальных потрясений в самой отрасли, у ее смежников, да и экономики в целом. Поэтому переход к новым видам высокоскоростного и эффективного транспорта будет весьма трудным.

В принципе, надземные транспортные системы существуют, в том числе работающие в связке с железнодорожным транспортом (например, канатный или эстакадный транспорт для подвозки угля или руды с их крупных месторождений к станциям примыкания на железнодорожных магистралях). Но речь идет именно о высокопроизводительных, эффективных и надежных надземных транспортных системах. Такой транспорт уже создан в различных опытных вариантах и работы в этом направлении ведутся, например, в Китае, Японии и других странах.

Еще один важнейший вид пассажирского транспорта – метро. Первые сведения о нем относятся к древним временам Египта, Греции и Рима. Первым, существующим в виде, близком к современному, считается подземное лондонское метро, появившееся в 1904 г. Метро вначале создавалось как городской подземный транспорт, не имеющий пересечений с другим транспортом в одной плоскости, но постепенно оно стало междугородним видом сообщения с функциями электрички за пределами городской черты.

Строительство и эксплуатация метро требуют огромных затрат, влияют на подземную экологию и создают риски проседания грунтов вдоль транспортных линий, вокзалов и технических сооружений. Более того, инерционность последствий принятия решений о развитии метро по «классическим» технологиям – одна из самых высоких среди транспортных систем массового обслуживания. Условия подземного строительства намного превосходят по своей тяжести и капитальным затратам строительство обычных железных дорог. К неравномерной загрузке метро в течение дня, слабой антитеррористической защищенности его пассажиров добавляется еще высочайшая инфекционная уязвимость пассажиров.

Сама подземная прокладка в массовых масштабах интуитивно выглядит достаточно противоестественной, так как приходится перекрывать русла подземных рек, пробиваться сквозь скальные грунты или, наоборот, замораживать огромные объемы слабых грунтов – плывунов либо уходить от них глубоко вниз или в сторону.

Вибрационное воздействие метро на людей и объекты различного назначения считалось до недавнего времени безопасным. На самом деле оно часто оказывается источником возникновения случайного волнового поля сейсмоэмиссии, воздействие которого на окружающую среду и на человека накапливается годами и может ударно воздействовать на среду в непредсказуемый момент времени. В результате над метро происходит разрушение наземных сооружений вплоть до провалов их под землю.

Бесконечное число проблем связано и с современным авиационным транспортом – самым незащищенным и уязвимым в отношении терроризма, погодных условий на всех этапах взлета-полета-посадки, обустройства аэродромов, аэропортового обслуживания, качества топлива и пр. Территория России – это почти на две трети вечная мерзлота, поэтому строительство и обслуживание аэродромов требует высочайших затрат. Так как у современных лайнеров типа нашего «Суперджет» или «Боинг-737» и других двигатели расположены не более чем в полуметре от земли, то и требования к аэродромам особые: нельзя взлетную полосу посыпать песком, ни малейших наледей там не должно быть и т.д.

Насчитываются сотни потенциальных причин авиакатастроф, в том числе заложенных на стадиях конструирования и производства. Эти причины либо объективно не могут быть устранены, либо их устранение стоит слишком больших денег, а вероятность возникновения хотя и присутствует, достаточно мала. По оценкам специалистов, за время длительной эксплуатации самолетов конструктивные недостатки проявляются примерно в 20-30% от перечня, обнаруженного еще во время многотысячных стендовых имитаций режимов взлета, полета, посадки на стадиях запуска техники в серию. Компаниям – производителям или экс-

платантам авиатехники дешевле выплатить высокие компенсации пострадавшим, чем устранить ту или иную причину возможной аварии. Тем самым авиакомпании определяют цену жизни своих пассажиров.

Список проблем можно расширять и продолжать, его можно рассматривать как социальный заказ или вызов конструкторской мысли на усовершенствование транспортных систем. Важнейшим аспектом разработки государственной инновационной политики в части определения приоритетов является, на наш взгляд, выделение инноваций, непосредственно связанных с жизнеобеспечением. К таковым можно отнести нововведения, позволяющие удешевить формирование и поддержание в рабочем состоянии транспортных систем и средств связи, без которых территориальный распад страны станет неизбежным. Естественным, а во многих случаях и единственным заказчиком таких инноваций может и должно быть государство. Более того, внедрение и тиражирование инноваций, определение приоритетов здесь также становится делом государственным.

Для этой группы инноваций необходимым оказывается не только индикативное, но и директивное планирование. Финансировать риски в состоянии либо государство, либо венчурные компании, альянсы или объединения предприятий. Кроме финансовых задач государство должно осуществлять стратегическое планирование: определять приоритеты в инновационной сфере, а также перечень товаров и услуг, которые могут стать предметом государственного заказа; обеспечивать создание механизмов самоорганизации в инновационной сфере; поощрять участие крупного капитала в инновационных проектах; проводить экспертизу и анализ проектов.

Представители правительств и парламентов европейских и азиатских стран, международных транспортных, финансовых и других организаций и институтов, ассоциаций транспортников, товаропроизводителей, грузовладельцев, собственников контейнеров, государственных и коммерческих структур, принимающих участие в работе Третьей Международной евро-азиатской конференции по транспорту (Санкт-Петербург, 11-12 сентября 2003 г.), признали важную роль транспорта в достижении устойчивого экономического и социального развития стран Европы и Азии в условиях дальнейшего повышения геостратегического значения Евро-Азиатского континента в XXI в.

Конференция определила, что эффективные, безопасные и экологичные евро-азиатские транспортные связи должны основываться на скоординированном развитии транспортной инфраструктуры и дальнейшем научном исследовании транспортных проблем; содействии инновациям на транспорте. В связи с этим предстоит провести фундаментальные и прикладные научные исследования и выбрать гармонизированные технические параметры инфраструктуры международных транспортных коридоров.

В области современных технологий перевозок грузов необходимо обеспечить ускорение развития мультимодальных перевозок; интенсификацию работы по унификации нормативно-правовой базы, регулирующей транспортную деятельность и связанной с технологией перевозочного процесса, повышением качества перевозок и их безопасности, снижением вредного воздействия на окружающую среду; поддержку и более широкое использование схем государственно-частного партнерства при реализации инвестиционных проектов развития транспортной инфраструктуры.

Особая роль транспорта была подчеркнута Байкальским экономическим форумом 2004 г. «Россия и экономическая интеграция Евро-Азиатского континента» [9]. На Санкт-Петербургском экономическом форуме 2005 г. убедительно прозвучало, что экономический рост России и ее выход на международные транспортные коридоры напрямую связан с развитием транспортной системы страны и регионов, особенно сибирских и дальневосточных [10].

В современных условиях хозяйствования необходимость научно обоснованного подхода к управлению инновациями и инновационной деятельностью на транспорте обусловлена не только расширением и углублением рыночных отношений, но и задачами реализации федеральных и отраслевых инновационных программ. В этих условиях обеспечение высоких темпов экономического развития в транспортных отраслях возможно лишь на основе достижений научно-технического прогресса, совершенствования методологии управления инновациями и стратегической инвестиционной деятельности на транспорте.

Еще 16 марта 2004 г. на встрече в Кремле Президента РФ В.В. Путина и министра транспорта и связи РФ И.Е. Левитина с учеными и представителями деловых кругов обсуждались проблемы развития транспортной системы страны в рамках формирования и реали-

зации Транспортной стратегии РФ на период до 2020 г. и Федеральной целевой программы «Модернизация транспортной системы России на 2002-2010 годы». Особо была подчеркнута роль государства в развитии транспортной системы страны и необходимость формирования государственной инновационной политики в рамках транспортной стратегии. Инновационная политика на транспорте должна быть согласована с этими стратегическими документами.

Сегодня транспортные системы России функционируют в жестких рамках ограниченных финансовых ресурсов, что обусловлено общим инвестиционным кризисом в транспортной отрасли и резким сокращением финансовых возможностей как федеральных, так и территориальных систем. В качестве примера можно рассмотреть отечественную железнодорожную транспортную систему. Российские железные дороги по своей технической оснащенности и показателям перевозочного процесса являются крупнейшей составляющей транспортной системы мира.

Федеральный железнодорожный транспорт в основном обеспечивает платежеспособный спрос на перевозки и свое рентабельное функционирование в условиях институциональных преобразований. Более того, отрасль является одним из крупнейших «доноров» федерального бюджета, пенсионного фонда, местных бюджетов и внебюджетных фондов. Но развивается федеральный железнодорожный транспорт практически только за счет собственных источников, используя подвижной состав второго поколения, тогда как весь мир уже начинает переходить на пятое. Основные фонды стареют, в сложном положении находятся путевое хозяйство и ремонтные предприятия.

Одна из главных задач отрасли – выработка комплекса инновационных мер. Первоочередные направления инновационной политики включают анализ и обоснование альтернативных источников финансирования инноваций; рациональное использование имеющихся ограниченных ресурсов; создание и совершенствование отраслевой системы управления инновациями; разработку и внедрение новых прогрессивных технологий; корректную оценку технико-экономической эффективности инновационных проектов по современным инвестиционным параметрам.

Транспортники активно ищут новые направления инновационной деятельности. Переход к рыночным принципам в экономике потребовал уточнения роли и функций государства в транспортной сфере. Этому вопросу посвящен специальный раздел в Транспортной стратегии РФ на период до 2020 г. Важнейшими направлениями реформирования транспортной системы страны названы пересмотр роли и функций государственных органов управления, сокращение размеров государственной собственности, исключение прямого участия государства в производственной деятельности, приватизация предприятий, не связанных с исполнением государством прямых функций по обеспечению обороноспособности и безопасности страны, повышение эффективности управления государственной собственностью [11].

Система государственного регулирования транспортной отрасли должна быть комплексной, тесно увязанной с национальной транспортной политикой и рационально структурированной в отношении распределения функций. Регулирование состоит в разработке правил, контроле за их исполнением и правоприменении (наказания за нарушения). Эти функции должны быть разделены между государственными ведомствами.

Государственное регулирование призвано гарантировать соблюдение групп интересов. Первый уровень целей государственного регулирования транспортной отрасли – обеспечение общественных и государственных интересов, в первую очередь, макроэкономической эффективности, национальной безопасности и обороноспособности. Второй уровень – обеспечение интересов потребителей услуг транспортной отрасли, заключающихся в возможности своевременно получать необходимые транспортные услуги, качество которых соответствует их цене. Третий уровень – учет интересов предприятий транспортной отрасли, заключающихся, как и у всех хозяйствующих субъектов, в достижении финансово-экономической эффективности и устойчивости деятельности.

Отказываясь от патернализма в отношении транспорта, правительство исходит из того, что экономической основой функционирования и развития транспортной системы должны стать конкуренция негосударственных операторов и привлечение частного капитала в транспортный сектор.

Государственная транспортная политика включает систему приоритетов, которыми руководствуются органы власти, используя возможности транспорта для решения социально-экономических задач: участие государства в транспортной деятельности сводится к мини-

муму при значительном повышении эффективности контроля, регулирования, поддержки; государство несет полную ответственность за устойчивое развитие транспорта и стратегической транспортной инфраструктуры; рынок транспортных услуг функционирует на основе конкуренции независимых транспортных операторов; налоговое регулирование используется как инструмент достижения заявленных приоритетов; развитие экспорта транспортных услуг рассматривается как важнейший фактор обеспечения конкурентоспособности России; транспорту должна быть доступна самая экономичная, безопасная и экологичная техника.

Перед обществом государство отвечает за безопасное, экономически эффективное и экологически устойчивое функционирование транспортной системы. Главные сферы его ответственности – совершенствование правовых основ транспортной деятельности; выработка и контроль соблюдения правил конкуренции и условий доступа к инфраструктуре; выработка и контроль выполнения стандартов безопасности транспортных процессов и воздействия транспорта на окружающую среду; обеспечение антитеррористической и антикриминальной безопасности на транспорте; решение задач оборонного и мобилизационного характера; обеспечение минимальных стандартов транспортного обслуживания для всех слоев населения и регионов страны; поддержание в работоспособном состоянии базовой инфраструктуры транспорта; обеспечение соответствия развития транспортной инфраструктуры развитию производительных сил; проведение структурных преобразований на транспорте.

Однако при этом государство реализует принцип минимально необходимого вмешательства в транспортную деятельность. Сферы, в которых государство стимулирует и поддерживает соответствующие изменения, включают развитие конкуренции на рынке транспортных услуг; создание условий для инноваций на транспорте; реализацию инвестиционных проектов, особо значимых для ликвидации «узких мест» в транспортной инфраструктуре; развитие экспорта транспортных услуг и создание благоприятных условий для отечественных транспортных операторов на международных рынках транспортных услуг; повышение доступности транспортных услуг для наименее обеспеченных слоев населения и людей с ограниченными физическими возможностями.

Транспорт является частью единого производственно-транспортно-торгового процесса (ПТТП), так как только ПТТП как единое целое создает конечный продукт и приносит доходы для расширенного воспроизводства. Можно эффективно (дешево) производить продукцию, но неэффективно (дорого) транспортировать и/или неэффективно ею торговать.

Увязка отдельных элементов ПТТП в единую систему – необходимое, но еще не достаточное условие эффективного развития национальной экономики или ее подсистем.

Задачи оптимизации производственно-транспортных структур и процессов известны. Появление современных технических, организационных средств и механизмов позволяет продуктивно вернуться к постановке проблем разработки и практической реализации государственной стратегии развития транспорта как элемента единой производственно-транспортно-торговой системы.

Транспорт необходимо рассматривать в качестве одного из важнейших инфраструктурных двигателей мировой торговли, определяющих конкурентные позиции страны. Важным фактором экономического развития любого государства в современных условиях является участие в мировом разделении труда, оцениваемое, прежде всего, по объему и структуре внешней торговли. Активное участие в мировой торговле открывает доступ к передовым технологиям, помогает осуществлять глубокое экономическое маневрирование. Здесь выигрывает тот, кто эффективнее будет не только производить товары и услуги, но и транспортировать и продавать их.

Низкая конкурентоспособность России в мировой торговле в значительной мере определяется неудовлетворительным состоянием ее транспортной системы, отсутствием серьезной модернизации ведущих отраслей промышленности, строительства и транспорта. Россия может стать партнером промышленно развитых регионов только при наличии современной транспортной системы и подвижного состава нового поколения. Для этого необходима комплексная экономически эффективная транспортная стратегия, которой в настоящее время у России по существу нет.

Расширение участия России в мировой торговле возможно лишь при решении масштабных задач развития ее транспортной системы – вплоть до создания новых видов транспорта и подвижного состава, новых видов путей сообщения и технологий их строительства, новых систем технического и экономического управления ими.

Конкурентоспособность отечественного транспорта на мировых рынках транспортных услуг может быть достигнута лишь при концентрации усилий государства и крупных хозяйствующих субъектов и широком использовании новейших достижений НТП. Необходимо выделить ядро стратегических задач развития транспортной системы России, максимально обеспечив его административным ресурсом государственного регулирования и поддержки. В то же время для обеспечения экономической надежности транспортной системы страны необходимо определить зону ее гибкого оперативного реагирования на наиболее вероятные неблагоприятные внешние и внутренние факторы, причем, элементы этой зоны должны быть наделены адекватной хозяйственной самостоятельностью. Сама транспортная система должна обладать достаточной мерой разнообразия как видов транспорта, так и путей сообщения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ахромеева, Т.С. Большие проекты, нелинейная динамика и безопасность в историческом контексте / Т.С. Ахромеева, Г.Г. Малинецкий, А.В. Подлазов // Проблемы управления безопасностью сложных систем: материалы IX Междунар. конф., Москва, 1 дек. 2001 г. / ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. -М., 2001. -С. 24-28.
- 2 Гохберг, Л. Национальная инновационная система России в условиях «новой экономики» / Л. Гохберг // Вопр. экономики. -2003. -№3. -С. 26-38.
- 3 Основные направления государственной инвестиционной политики Российской Федерации в сфере науки и технологий: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 11 дек. 2002 г. №1764-р.
- 4 Глазьев, С. Стратегия развития России на базе освоения 6-го технологического уклада [Электронный ресурс] / С. Глазьев. -Режим доступа: [www.glazev.ru](http://www.glazev.ru). – 01.02.2012.
- 5 Панькова, О.В. Венчурное инвестирование как инструмент инновационной политики / О.В. Панькова, В.И. Канов // Сборник научных трудов по материалам международных научно-практических конференций и научных сессий СИФБД. -Новосибирск, 2004. -С. 235-245.
- 6 Панькова, О.В. Финансово-кредитный механизм инновационной деятельности, функционирующий в государственном секторе науки / О.В. Панькова, Н.В. Фадейкина // Сборник научных трудов по материалам международных научно-практических конференций и научных сессий СИФБД. -Новосибирск, 2004. -С. 284-294.
- 7 Шеко, П. Инновационный хозяйственный механизм / П. Шеко // Проблемы теории и практики упр. -2000. -№2. -С. 71-78.
- 8 Режим доступа: [http://www.vedomosti.ru/newspaper/article/249750/zachem\\_rossii\\_innovacii#ixzz15V2dl6lY](http://www.vedomosti.ru/newspaper/article/249750/zachem_rossii_innovacii#ixzz15V2dl6lY). -01.02.2011.
- 9 Россия и экономическая интеграция Евро-Азиатского континента. -Новосибирск: ИЭОПП, 2004. -115 с.
- 10 Транспортно-промышленное освоение Сибири и Дальнего Востока – системный фактор прорывного развития экономики России, ее интеграции в мировую систему («Горизонт-2030»). -Новосибирск: ИЭОПП, 2006. -138 с.
- 11 Транспорт и экономический рост России и государств Содружества. Россия в условиях становления единой транспортной системы Евро-Азиатского континента. Федеральные округа в системе МТК (с детализацией СЗФО). -Новосибирск: ИЭОПП, 2005. -160 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *транспортная система, национальная инновационная система, концепция, стратегия, политика, надежность, разнообразие, государственная поддержка*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Владимирова Татьяна Александровна, докт. экон. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ В РЕГИОНАХ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ**

**ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»**

**Н.Б. Попова**

**ORGANIZATION OF MINERAL RESOURCES TRANSPORTATION IN THE REGIONS OF THE WEST SIBERIAN PLAIN**  
**«Siberian state transport university»**  
N.B. Popova

The article defines the types of mineral and raw resources of the West Siberian Plain that are involved in transportation process. It presents estimation, specification and assessment of the rate of the freight types defining the "inbound – outbound" structure at the Sverdlovskaya, the South-Urals and the West-Siberian Railways.

*Keywords: bulk transportation, inbound structure, outbound structure, mineral and raw resources*

Характеризуются виды минерально-сырьевых ресурсов Западно-Сибирской равнины, формирующей предмет транспортной работы. Рассчитаны, уточнены и оценены доли групп грузов, характеризующих структуру «ввоза-вывоза» Свердловской, Южно-Уральской, Западно-Сибирской железных дорог.

Топливо-энергетические и минерально-сырьевые ресурсы формируют группы грузов, составляющие массовые перевозки. Минеральные строительные материалы, лесные грузы, руда, уголь, нефтяные грузы в совокупности формируют до 30% грузопотока Западно-Сибирской, более 50% Свердловской и около 40% Южно-Уральской железных дорог, осуще-



ствляющих перевозки в регионе.

В вывозе из региона и во ввозе в регион существенную долю занимают не только группы грузов ископаемого сырья, но и продукты переработки сырой нефти (бензин, топливо дизельное, мазут), продукты переработки угля, природных строительных материалов, продукция металлургических производств.

В структуре вывоза из региона составляющая нефтепродуктов почти 45%, продукция металлургического производства – 40%, цемента – 15%, угля и продуктов его переработки – 0,2%. При этом основной грузопоток нефтяной продукции направлен из Омской и Тюменской областей, а продукции металлургического комплекса – из Свердловской и Челябинской областей. Цемент, как строительный материал, вывозят Свердловская (39,8%), Челябинская (35,3%), Новосибирская (24,9%) области (таблица 1).

Такая специализация связана с особенностями хозяйственного комплекса региона, его ролью в межрегиональном разделении труда.

*Таблица 1 – Вывоз основных видов продукции от общих объемов на 01.01.2010 г. (в процентах)*

Область, край, округ	Бензин	Дизельное топливо	Мазут	Уголь*	Прокат черных металлов	Трубы стальные	Цемент
Свердловская	–	–	–	–	26,86	68,95	39,50
Челябинская	–	–	–	7,32	73,08	29,20	35,04
Алтайский край	–	–	–	–	–	–	0,77
Новосибирская	–	0,29	–	92,68	0,06	1,85	24,69
Омская	57,62	61,95	77,66	–	–	–	–
Томская	0,35	0,86	0,15	–	–	–	–
Тюменская, в том числе:	20,14	11,82	22,20	–	–	–	–
– ХМАО-Югра	21,55	23,70	–	–	–	–	–
– ЯНАО	0,33	1,38	–	–	–	–	–

\*-с продуктами переработки

Структура ввоза имеет следующее содержание. Поставляемые продукты нефтепереработки (кроме мазута) принимают все субъекты региона, за исключением Курганской области, ХМАО-Югры и республики Алтай. ХМАО-Югра и ЯНАО «не участвуют» в получении угля и продуктов его переработки. Продукция металлургического производства и цемент востребованы во всех субъектах региона. В целом по Западной Сибири объёмы ввоза на 37,6% превышают объёмы вывоза.

Больше других регионов в продукции нефтепереработки нуждаются Свердловская и Челябинская области, их совокупная потребность составляет от 30% до 40% объёма поставляемых в регион нефтепродуктов. Уголь и продукты его переработки востребованы в Новосибирской области (39,3%) и Алтайском крае (23,3%), несколько ниже доля участия в приёмке этой группы грузов у Челябинской (21,0%) и Свердловской (10,6%) областей. Доля Томской области составляет 3,0%.

Прокат чёрных металлов на 67,3% от объёма ввоза поступает в Свердловскую и Челябинскую области. Предприятия этих областей получают прокатную продукцию металлургического производства для изготовления металлоконструкций и последующего вывоза. Доля названных субъектов в поставках этой продукции составляет 99,9% регионального показателя. Другой вид проката – стальные трубы – в большом объёме ввозятся в Тюменскую область и округа. Их совокупная потребность в этой продукции металлургического производства составляет 85,4% регионального показателя. Из других субъектов трубы стальные получают Томская и Новосибирская области, показатели их участия сопоставимы и в среднем составляют по 3,0%.

В получении цемента также весьма заметна потребность Тюменской области и округов. В совокупности на их долю приходится 51,4% поставляемой продукции. В Омской, Томской, Свердловской областях и Алтайском крае доля цемента, поступающего за счёт ввоза, составляет примерно по 10% в региональном показателе (таблица 2).

Роль *железных дорог*, основных сухопутных транспортных путей региона, в перевозке грузов ископаемого сырья и продуктов его переработки весьма существенна.

Главный ход *Свердловской железной дороги* от станции Чепца через Пермь-Кунгур-Екатеринбург-Тюмень до станции Называевская проходит по наиболее освоенной части Западно-Сибирского региона и связывает Урал с Сибирью.

По этой линии идёт большой поток транзитных грузов как ресурсного сырья (уголь, лес,

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

зерно), так и продуктов различной переработки (нефтепродукты, машины и оборудование). Меридиональная линия на Сургут-Уренгой-Ямбург осуществляет транспортное обеспечение газовых и нефтяных месторождений. Объем вывоза лесоматериалов по этому направлению незначителен. Пункты отправления данной линии – Тобольск, Сургут, Нижневартовск – выполняют вывоз продуктов нефтегазопереработки.

*Таблица 2 – Ввоз основных видов продукции от общих объемов на 01.01.2010 г (в процентах)*

Область, край, округ	Бензин	Дизельное топливо	Мазут	Уголь*	Прокат черных металлов	Трубы стальные	Цемент
Курганская	4,07	4,44	0,00	0,34	2,88	0,70	2,17
Свердловская	22,99	15,57	35,13	10,59	48,61	5,91	10,44
Челябинская	21,34	18,96	27,64	20,99	19,63	4,03	4,55
Республика Алтай	0,13	0,22	0,00	1,79	0,02	0,15	0,46
Алтайский край	11,32	10,32	17,04	23,33	4,50	0,94	10,31
Новосибирская	15,87	17,43	13,29	39,30	12,89	3,91	7,89
Омская	0,28	0,58	2,75	0,39	3,39	0,96	9,51
Томская	5,42	3,60	0,79	2,99	1,08	4,40	8,05
Тюменская, в том числе:	18,58	28,89	3,36	0,28	6,99	79,00	46,62
– ХМАО-Югра	8,40	7,14	–	–	1,13	31,93	7,03
– ЯНАО	1,50	14,46	2,57	–	0,19	12,21	2,78

\*-с продуктами переработки

Другие меридиональные линии центрального и восточного Урала от Екатеринбурга на Гороблагодатскую-Ивдель-Приобье и от Серова на Карпинск направлены в Богословский угольный район (Карпинск) и на бокситовые рудники (Туринск-Уральский). Линия Серов-Сосьва-Егоршино обеспечивает вывоз лесных грузов с Северного Урала. Железнодорожный путь Ивдель-Приобье проложен в лесозаготовительные и газодобывающие районы севера Западной Сибири. Эта линия связывает речную систему Нижней Оби с железнодорожной сетью России.

На Среднем Урале, в старопромышленном районе, качканарская руда по широтной Горнозаводской линии вывозится в Нижний Тагил. К этой основной широтной линии подходят также пути с юга, от Баженовского месторождения асбеста, и с северо-востока, из лесных (Тавда-Тура) и нефтяных (Шаим) районов запада Ханты-Мансийского автономного округа.

Если древесина, нефтяные грузы, руда преимущественно вывозятся из районов нового хозяйственного освоения, то во встречном потоке, в эти районы, преобладают каменный уголь, строительные материалы, зерно и продукты перемола. Таким образом, работу этой части Свердловской железной дороги формируют лесные и рудно-металлургические грузы.

С речными грузопотоками Обь-Иртышского бассейна железная дорога пересекается в Тюмени. Здесь происходит перевалка грузов на реку Туру (приток Тобола) для районов нефтедобычи и перевалка леса с реки на железную дорогу. В Тавде в основном перегружают лес, заготовленный в бассейне реки Тавды. Тобольск (на Иртыше), Сургут и Нижневартовск (на Оби) также являются пунктами перевалки грузов с рек на железную дорогу. Но в целом удельный вес речного транспорта в перевозках района тяготения Свердловской железной дороги невелик.

*Автомобильный транспорт* по дорогам Екатеринбург-Арамилы-Челябинск-Караганда (международного значения), федеральным трассам Екатеринбург-Пермь-Казань, Екатеринбург-Тюмень-Омск и дорогам местного значения от областного центра до Серова, Нижнего Тагила, Кунгура-Соликамска и Кургана, проходящим из старопромышленной части в районы нового хозяйственного освоения, обеспечивает доставку грузов железной дороги непосредственным получателям.

В районе тяготения также проложены нефтепроводы Шаим-Тюмень, Усть-Балык-Нижневартовск. Поступающая по нефтепроводу нефть в Тюмени наливается в железнодорожные цистерны и следует на запад. Железную дорогу также пересекают газопроводы из Узбекистана (Газли) и Западной Сибири (Игрим).

*Южно-Уральская железная дорога*, применительно к Западно-Сибирскому региону, обслуживает Челябинскую, Курганскую и незначительную часть Свердловской области. Главный ход дороги – магистраль Кропачево-Челябинск-Петропавловск-Исилькуль, соединяющая Южный Урал с Западной Сибирью. В состав дороги также входят участки Южсиба (Бе-

лорецк-Магнитогорск-Карталы-Тобольск) и Средсиба(Троицк-Золотая Сопка).

Освоенческое значение ряда линий дороги (Кыштым-Карабаш, Магнитогорск-Сибай, Миасс-Учалы, Бердяш-Бакал) состоит в том, что все они ведут к месторождениям полезных ископаемых: по этим линиям осуществляется доставка необходимых материалов и вывоз сырья и продуктов переработки. В грузах вывоза преобладают строительные материалы, руда, флюсы, огнеупоры. В местных перевозках также велика доля руды и каменного угля. Эти группы грузов от месторождений направляются на переработку в Челябинск, Орск. Сюда же поступает каменный уголь, как местный, из Южно-Уральского бассейна, так и из Западной Сибири (Кузбасс) и Казахстана. Нефтепродукты сначала являются грузами транзита, а затем уже грузами ввоза-вывоза. Нефтяные грузы идут из Западной Сибири (восток), Башкортостана, Самарской области (запад).

Таким образом, освоенческими трассами для этой части дороги являются пути от месторождений Южного Урала в Челябинск, на главную широтную магистраль Кропачево-Исилькуль.

Южно-Уральская дорога взаимодействует с автомобильным, трубопроводным транспортом. Основные автомагистрали, проходящие в зоне тяготения ЮУЖД, являются продолжением международных и федеральных трасс из Среднего Урала (Свердловская область) в Казахстан и в восточные районы России.

В зоне тяготения дороги проходят маршруты почти двух десятков газопроводов и нефтепроводов из Казахстана, с севера Западной Сибири, Узбекистана и соседних Оренбургской области и Башкортостана.

Река Урал, протекающая в этой части региона, не судоходна, поэтому речной транспорт практически не развит.

*Западно-Сибирская железная дорога* обслуживает Новосибирскую, Томскую, Омскую области и Алтайский край. На западе дорога связана со Свердловской (ст. Называевская) и Южно-Уральской (ст. Исилькуль) дорогами, на востоке – с Красноярской дорогой (ст. Мариинск, Междуреченск). На юге и юго-западе – с дорогами Казахстана (ст. Локоть, Кзылту, Кулунда). Дорога имеет два широтных хода: Исилькуль-Омск-Новосибирск-Мариинск, входящий в Транссиб и Кзылту-Иртышское-Карасук-Камень-на-Оби-Среднесибирская, входящий в Среднесибирскую магистраль. В настоящее время грузовые потоки дороги ориентированы так, что контейнерные поезда идут по Транссибирскому ходу, а так называемые сырьевые маршруты – по Среднесибирскому ходу. По характеру деятельности дорога является вывозящей с большим объемом транзитных перевозок. Будучи главной дорогой района освоения природных ресурсов, Западно-Сибирская дорога выполняет и ответственную «стыковую функцию» межрегионального значения. Из восточных районов страны на дорогу поступает большой объем сырьевых групп грузов, с запада – машины, оборудование, продукция металлургических, химических производств, продукты питания, товары народного потребления, необходимые на востоке страны.

Основные грузы в границах района исследований (Западная Сибирь) – руда, нефтяные грузы, уголь, продукты переработки химических производств. В транзите преобладает каменный уголь на предприятия Урала, Центра (запад) и за границу (восток). Перевозки строительных материалов имеют главным образом местное значение. Нефтяные грузы вывозятся на запад, восток России и за границу.

На работу дороги влияет взаимодействие с *внутренним водным транспортом*. На судоходных реках Западной Сибири (Обь с Иртышом) сформированы транспортные маршруты в районы Ханты-Мансийского АО и Ямало-Ненецкого АО для выполнения северного завоза и других освоенческих миссий транспорта региона.

Главный груз на Иртыше – лес, кроме того, перевозятся минеральные строительные материалы, нефтегрузы. Важнейшими портами перевалки грузов являются Омск, Тобольск. На Оби лесные грузы составляют также значительный объем – около 80% грузооборота. Новосибирск и Барнаул являются главными транзитными пунктами при выполнении железнодорожно-водных перевозок.

*Автомобильный транспорт* развит преимущественно на юге региона, в зоне сплошного хозяйственного освоения. Автодороги связывают главные города соседних субъектов Федерации – Омск, Новосибирск, Барнаул, Томск. На север от железнодорожной магистрали автодорог практически нет, но на юг, в Республику Алтай (Новосибирск-Барнаул-Бийск-Горно-Алтайск) и в Казахстан (Новосибирск-Карасук-Павлодар, Омск-Павлодар, Омск-Петропавловск, Барнаул-Семей, Бийск-Усть-Каменогорск) автомобильные дороги проложе-

ны. Их роль заключается и в доставке грузов железной дороги непосредственным получателям.

*Трубопроводные трассы* протянулись из Среднего Приобья на запад страны, юг (в Казахстан и Среднюю Азию), восток (до Ангарска). Крупный нефтепровод проходит через Омск-Новосибирск в Анжеро-Судженск.

Главные города южной части региона – Новосибирск, Омск, Барнаул, Томск, а с недавних пор и Горно-Алтайск – связаны системой авиалиний между собой, а также с самой длинной авиатрассой России Москва-Владивосток.

Таким образом, железнодорожный и другие виды транспорта в Западной Сибири, решая освоенческие задачи в одних районах обширного региона и выполняя транспортную работу в других, уже хозяйственно освоенных областях, в определённой мере «снижают» ресурсную зависимость региона в целом, обусловленную территориальной дифференциацией факторов и условий его природной среды.

Количество и состав минерально-сырьевых ресурсов, пополняемые за счет разведки новых полезных ископаемых, а также вследствие изменения возможностей использования добытого природного сырья способствуют воспроизводству природно-ресурсного потенциала территории и постоянству транспортной работы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *массовые перевозки, структура ввоза, структура вывоза, минерально-сырьевые ресурсы*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Попова Наталья Борисовна, докт. геогр. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

## **О НЕАДЕКВАТНОСТИ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ОПЕРАЦИЙ И ОЖИДАНИЙ**

**ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»**

**А.Ю. Платов, Ю.И. Платов**

**ABOUT INADEQUACY OF STATISTICAL MODELING OF TRANSPORT OPERATIONS AND WAITING TIME**  
**«Volga state academy of water transport»**  
A.Yu. Platov, Yu.I. Platov

In article problems of mathematical modeling of transport operations with application of likelihood methods are considered. In article the analysis of the reasons which cause an error of methods intended for definition of a standard deviation of duration of running operation, approximations of distribution of time of transport operations and calculation of waiting time is carried out.

*Keywords: statistical methods, mathematical modeling of transport operations*

Рассматриваются проблемы математического моделирования транспортных операций с применением вероятностных методов. Проведён анализ причин, которые обуславливают погрешность методов, предназначенных для определения стандартного отклонения продолжительности ходовой операции, аппроксимации распределения времени транспортных операций и вычисления времени ожиданий.

Применение методов теории вероятности для моделирования транспортных операций началось в 60-х годах. Исследования в этом направлении проводились в работах Д.И. Волового, А.П. Ирхина, В.А. Падня, В.И. Савина, М.Б. Хейфеца. Фундаментальный вклад в этом направлении внёс С.М. Пьяных уже в 70-х годах, что, бесспорно, являлось большим научным достижением их автора.

В его работах, во-первых, были предложены эмпирические зависимости для вычисления стандартных отклонений продолжительности операций, во-вторых, было обосновано применение распределения Эрланга для определения продолжительности операций и, в-третьих, были построены регрессионные зависимости для вычисления времени ожиданий. Эти результаты получили широкое распространение в учебной и научной литературе, посвящённой моделированию перевозочного процесса, но при этом нигде не подвергались сомнению. Однако в настоящий момент в эти модели можно и нужно внести некоторые коррективы, поскольку есть основания считать, что данные модели неадекватны.

В 1970 г. С.М. Пьяных в работе [1] была предложена зависимость, связывающая стандартное отклонение  $\sigma_x$  ходового времени со средним значением  $t_x$  этого времени

$$\sigma_x = t_x \exp\left(-\sqrt[6]{3t_x}\right). \quad (1)$$

Выражение (1) следует считать *неадекватным*, так как в нём выражается зависимость стандартного отклонения от расстояния, а вовсе не от времени, причём при некоторых фиксированных нормах следования. Это утверждение следует из нескольких оснований.

Во-первых, сама формула (1) получена на основе данных при движении на разных участках, для которых вычислялось среднее время движения. Естественно, чем больше это время, тем больше расстояние. Суда при этом двигались по некоторым нормам следования, используемым во второй половине 60-х годов.

Во-вторых, если при движении на некотором фиксированном участке будет задана увеличенная норма времени, то отклонения в прибытии скорее уменьшатся, так как у судов будет запас мощности, позволяющий им избежать опозданий. Однако, по (1) отклонение должно увеличиться.

Чисто математически это можно увидеть из того, что в формуле (1) неявно содержится модель типа

$$t_x = t_x + \varepsilon(t_x), \quad (2)$$

где  $\varepsilon$  – случайная составляющая.

В эконометрике такие модели называются гетероскедастичными. Как показано в [2], это может приводить к несмещённости и неэффективности оценок регрессионных моделей. Неэффективность означает, что величина случайного члена  $\varepsilon$  оказывается в среднем завышенной.

В-третьих, зависимость (1) может быть легко смоделирована на основании формулы вычисления стандартного отклонения  $N$  независимых событий

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_N^2}. \quad (3)$$

Действительно, принимая за эти события движение на некоторых участках, считая эти участки одинаковыми и задавая *постоянную* величину стандартного отклонения времени движения на этих участках, можно получить зависимость, практически совпадающую с зависимостью по формуле (1).

В-четвёртых, в формулу (1) заложена разница между техническим состоянием разных судов, которая может быть весьма существенной, а также не присутствуют такие важные переменные факторы, как сезонность, норма загрузки и др. Естественно, с ростом расстояния расхождения ходового времени у разных судов или при разных средних глубинах будут больше.

Очевидно, что колебания в техническом состоянии судов, сезонные изменения путевых условий, разница в нормах загрузки, различия в путевых условиях разных водных путей никак не могут считаться вероятностными. Однако все эти переменные факторы в формуле (1) фигурируют именно как случайные и вносят свой вклад в величину стандартного отклонения.

Другое важное положение, обоснованное С.М. Пьяных, состоит в утверждении о распределении Эрланга как предпочтительном для моделирования транспортных операций. Параметрами для распределения Эрланга являются среднее значение и целочисленный коэффициент  $k = v^{-2}$ , вычисляемый из коэффициента вариации  $v$ .

Здесь сразу же бросается в глаза целочисленность параметра  $k$  в распределении Эрланга, что является достаточно ограничивающим свойством. Нам трудно сказать, почему другое распределение, а именно гамма-распределение, которое является обобщением распределения Эрланга на случай нецелочисленного параметра, оказалось вне внимания С.М. Пьяных. Вероятно, не последнюю роль сыграли ограниченные возможности вычислительной техники 70-х годов, ведь вычисление гамма-распределения требует намного больше вычислений.

Рассмотрим статистические данные из работы [1] по времени выгрузки угля в Куйбышеве в 1969 г. Статистическая проверка нулевой гипотезы при уровне значимости  $\alpha = 0,01$  даёт следующие результаты.

Для распределения Эрланга при  $k = 5$  значения критерия Колмогорова  $K = 0,746$ , а для гамма-распределения при  $k = 5,225$  критерий  $K = 0,451$ . Теоретическое значение критерия  $K = 1,073$ . Хотя оба распределения «проходят», гамма-распределение показывает лучшие результаты. Критерий Пирсона для распределения Эрланга равен  $\chi^2 = 23,5$ , а для гамма-

распределения –  $\chi^2 = 18,8$ . Теоретическое значение критерия Пирсона  $\chi^2 = 23,2$ . Таким образом, при уровне значимости  $\alpha = 0,01$  распределение Эрланга следует отвергнуть, в то время как гамма-распределение не отвергается.

Другой результат можно получить на примере распределения длительности пропуска судов через Тольяттинский шлюз в 1969 г., взятого также из работы [1]. Статистическая проверка нулевой гипотезы также для уровня значимости  $\alpha = 0,01$  даёт следующие результаты.

Для распределения Эрланга при  $k = 2$  значения критерия Колмогорова  $K = 4,19$ , а для гамма-распределения при  $k = 2,018$  критерий  $K = 4,1$ . Однако теоретическое значение критерия Колмогорова  $K = 1,073$ , то есть в данном случае следует отвергнуть оба распределения. Тот же результат имеем по критерию Пирсона:  $\chi^2 = 120,3$  для распределения Эрланга и  $\chi^2 = 119,7$  для гамма-распределения при теоретическом значении  $\chi^2 = 21,7$ .

Полученные результаты должны быть ожидаемы на том основании, что распределение, лишённое дополнительного ограничения на свои параметры, в общем случае имеет лучшие аппроксимационные свойства. Поэтому в качестве естественной замены распределению Эрланга следует использовать гамма-распределение.

Статистический способ вычисления ожиданий основан на построении аппроксимации функции относительной длительности ожидания  $\gamma = t_{ож}/t_{об}$ , которая согласно работам [3] имеет вид

$$\gamma = \beta \frac{n^{n-1} \psi^n [1 - \psi^m - m \psi^m (1 - \psi)]}{(1 - \psi) \left[ n! (1 - \psi) \sum_{z=0}^{n-1} \frac{n^z \psi^z}{z!} + n^n \psi^n (1 - \psi^m) \right]}, \quad (4)$$

где  $\psi$  – коэффициент загрузки;

$n$  – число каналов;

$m$  – длина очереди.

При этом предполагается, что входящий поток судов и поток обслуживания имеют показательное распределение, то есть их коэффициенты вариации  $v_{ex}$  и  $v_{об}$  равны единице, при  $\beta = 1$ .

Коэффициент  $\beta$  необходим для учёта иных значений коэффициентов вариации. В работах С.М. Пьяных была выбрана некоторая аппроксимация для вычисления этого коэффициента, зависящая от  $v_{ex}$  и  $v_{об}$ .

Конкретные значения параметров аппроксимации были определены С.М. Пьяных в ходе имитационных экспериментов при значениях  $v_{ex}$ : 0; 0,38; 0,71 и 1, таких же значениях  $v_{об}$  и значениях  $\psi$ : 0,3; 0,5; 0,7 и 0,94. То есть было использовано 64 варианта, и для каждого проведено 400 испытаний.

Возможности ЭВМ шестидесятых и семидесятых годов полностью оправдывали попытки построения подобной аналитической зависимости. Однако в настоящее время имеется техническая возможность прямого определения времени ожиданий при имитационном моделировании. Возникает вопрос, есть ли в этом необходимость. Можно показать, что такая необходимость имеется по двум основаниям.

Во-первых, аппроксимация (4) имеет большую погрешность, и, во-вторых, при использовании гамма-распределения вместо распределения Эрланга, использованного для построения (4), аппроксимация уже будет неверной. Второе утверждение очевидно.

Для доказательства первого утверждения нами была программно реализована имитационная модель многоканальной системы массового обслуживания с ограниченной длиной очереди и эрланговским законом для потоков обслуживания и заявок и обычным приоритетом обслуживания. В результате была установлена значительная погрешность аппроксимации (4).

В работе [1] С.М. Пьяных пишет о том, что при  $v_{ex} < 0,3$ ,  $\psi < 0,3$  и  $n > 1$  аппроксимация может давать существенные ошибки, но «оправдывает» аппроксимацию тем, что реальные транспортные системы с такими параметрами встречаются редко. Однако, как можно видеть из рисунка существенные ошибки имеются при параметрах вне указанных выше пределов.

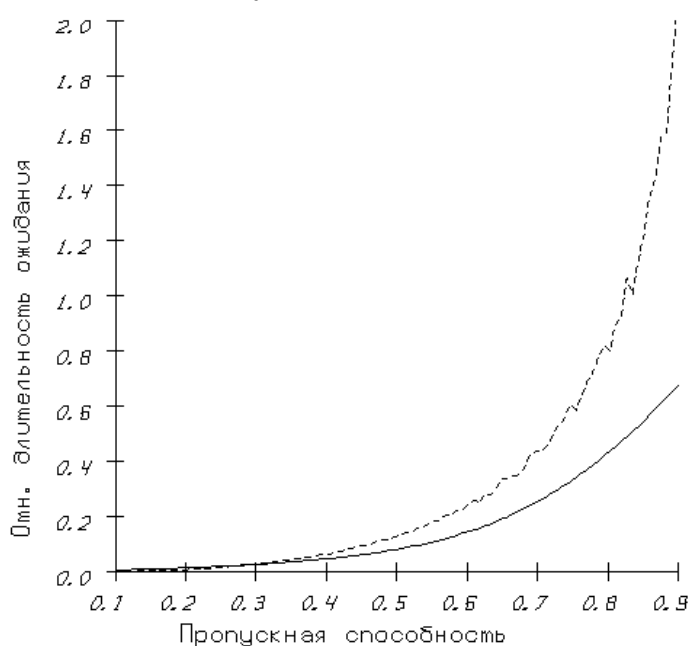
Причиной расхождений мы полагаем неадекватность непрерывных рациональных выражений для величины  $\gamma$  действительному дискретно-непрерывному процессу обработки заявок, причём при переходе к распределениям, отличным от распределения Эрланга, эти

выражения станут просто неприменимы. Установленные недостатки статистического моделирования транспортных операций позволяют сделать следующие рекомендации.

Во-первых, моделирование ходовой операции должно проводиться на основе детерминированной модели пропульсивного комплекса, прямо учитывающей те факторы, которые неверно считаются вероятностными: техническое состояние судов, сезонные изменения путевых условий, разница в нормах загрузки и т.д.

Во-вторых, целесообразно применение распределений, не имеющих тех ограничений, которые свойственны распределению Эрланга. Это может быть или гамма-распределение или даже обычное дискретное распределение. Аналитическая простота распределения Эрланга на сегодняшний день не актуальна.

В-третьих, для определения времени ожидания целесообразно использовать имитационное моделирование, а не аппроксимации функции относительного ожидания.



*Рисунок — Относительная длительность ожидания для  $n = 1$ ;  $m = 10$ ;  $\nu = 0,5$  для входящего потока и потока обслуживания: сплошная линия — аппроксимация С.М. Пьяных; пунктирная линия — результат имитационного моделирования*

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Пьяных, С.М. Исследование задач моделирования и нормирования движения и обслуживания судов / С.М. Пьяных // Труды ГИИВТ. Вып. 146. -Горький, 1975. -С. 9-69.
- 2 Эконометрика / И.И. Елисеева [и др]. -М.: Финансы и статистика, 2003. -334 с.
- 3 Падня, В.А. Применение теории массового обслуживания на транспорте / В.А. Падня. -М.: Транспорт, 1968. -206 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** статистические методы, математическое моделирование транспортных операций  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Платов Александр Юрьевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
 Платов Юрий Иванович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 603950, г. Н. Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

**ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ АМОРТИЗАЦИИ И ЦЕЛЕВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ «АМОРТИЗАЦИОННОГО ФОНДА»**

**ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»**

**В.И. Кожухарь, Т.С. Сергеева, П.В. Варчак**

**PROBLEMS OF PRESERVATION AND THE DEPRECIATION OF THE TARGET USING THE «AMORTIZATION FUND»**  
 «Volga state academy of water transport»  
 V.I. Kozhukhar, T.S. Sergeeva, P.V. Varchak

The problems of creation and targeted use of Bani «amortization fund». The reasons of misuse of fund in terms of accounting, as well as the weakening of control over the formation of the fund from the state.

*Keywords: depreciation, fixed assets, proper use of*

Рассмотрены проблемы создания и целевого использования «амортизационного фонда». Раскрыты причины нецелевого использования фонда с позиций бухгалтерского учета, а также, с ослаблением контроля за формированием фонда, со стороны государства.

Решениями правительства Российской Федерации выдвинут стратегический курс на ускорение социально-экономического развития страны. Ускорение требует, прежде всего, глубоких сдвигов в экономике. Суть их – интенсификация производства и ресурсосбережение.

Особое место в интенсификации общественного производства отводится обновлению основных производственных фондов. Сегодня мы имеем систему ослабления экономиче-

ских инструментов власти, образовался механизм торможения социально-экономического развития. Корни этого торможения, в том числе, кроются и в такой науке как «Бухгалтерский учет». На современном этапе обнаружилась проблема, связанная с учетом амортизационных отчислений.

Анализ прошлого опыта – необходимый элемент теории и метод, с помощью которого вырабатываются новые теоретические выводы. Научный анализ требует объективной оценки всех альтернативных вариантов прошлого опыта и их исследования в полном объеме. Даже если те или иные варианты методологии бухгалтерского учета были отвергнуты в свое время вполне справедливо, это не значит, что сегодня, в иных условиях они уже не могут представлять теоретический и практический интерес.

Основные фонды как экономическая категория и объект учета представляют собой совокупность материально-вещественных ценностей в натуральной форме, действующих в течение длительного времени [1]. В процессе приобретения основных производственных фондов в бухгалтерском учете, делают записи на соответствующих счетах в той сумме, которая уплачена поставщику, с добавлением расходов по доставке, монтажу и сборке. Одновременно на эту сумму уменьшаются денежные средства. При этом особенность учета этих средств производства заключается в том, что стоимость их в момент приобретения, как правило, не относится на затраты в производство. Основные фонды могут сразу же после приобретения включаться в процесс производства, но стоимость их входит в производственные затраты лишь частями по мере их износа. Стоимость основных фондов как объект учета включает три фазы: материальный износ, амортизацию и возмещение. «На первой фазе осуществляется производственное использование основных фондов, в результате которого происходит материальный износ и вместе с ним уменьшаются стоимость основных фондов. На второй фазе стоимость основных фондов переносится на готовый продукт и после его реализации образуется фонд амортизации. На третьей фазе кругооборота стоимости основных фондов происходит их возмещение» [2]. Стоимость средств труда в каждый данный момент находится на всех трех стадиях. Одна часть зафиксированная в средствах труда, используемых в производственном процессе как объект учета, отражается на счете «Основные средства (фонды)», другая часть, воплощенная в готовой продукции и в незавершенном производстве, фиксируется в учете в виде самостоятельного элемента затрат на производство, третья – выступает в виде денежного амортизационного фонда для возмещения износа основных фондов. Для этой части или самостоятельного объекта учета предназначен самостоятельный синтетический счет «Амортизационный фонд». При движении стоимости основных фондов бухгалтерский учет должен одновременно обеспечить их учет в натурально-вещественной форме. Это связано с тем, что физически нельзя отделить какую-то часть от станка, здания или от автомашины. Указанные предметы должны отражаться в учете в своей естественной натурально-вещественной форме [1].

Основные фонды преобладают в имуществе предприятий внутреннего водного транспорта. Их рост и совершенствование означают количественный и качественный рост технической вооруженности предприятия, что является одним из главных условий повышения производительности труда. Закрепление средств производства и других основных фондов за предприятием – важнейший элемент экономического благополучия государства.

В последнем Законе СССР о государственном предприятии (объединении) даны широкие права предприятиям, а именно распоряжаться зданиями, сооружениями, оборудованием, транспортными средствами, инвентарем и другими материальными ценностями. Это способствовало обновлению основных фондов на предприятии, а также повышению эффективности их использования.

Анализ развития организации и методологии учета основных фондов с первых дней существования государства показывает, что оно шло одновременно с развитием экономики. В период индустриализации, восстановления и реконструкции, в годы послевоенного строительства перед учетом основных фондов стояли несколько иные задачи, чем ныне.

Они сводились главным образом, к созданию научных основ и единой методологии учета количественного состава и движения основных фондов, правильного отражения их структуры и технической фондовооруженности каждого хозяйствующего звена или отрасли народного хозяйства; обеспечению контроля за их сохранностью.

Сложившаяся в то время система учета основных фондов в промышленности в условиях экстенсивных методов хозяйствования во многом уже не отвечает современным требованиям экономики. На современном этапе развития экономики управление основными фон-



дами требует большей по объему и разной по характеру информации, чем прежде.

Практика показывает, что во многих случаях получить нужную для управления предприятием информацию о состоянии основных фондов по данным действующей системы учета невозможно. Это, прежде всего, касается информации о возрастном составе отдельных видов основных фондов, нормативных и фактических сроках службы, о степени износа (физического и морального); о размерах начисленной амортизации, формировании «амортизационного фонда», его сохранения и целевого использования.

Проблемы учета основных фондов изучаются многими отечественными и зарубежными экономистами. Имеется много работ теоретического и дискуссионного характера по этим проблемам. Для их решения необходимы новые подходы [1].

Обновление основных производственных фондов предполагает четкую систему определения сроков замены устаревшей техники новой, выбытие морально и физически устаревших средств труда. Это предполагает необходимость формировать учетную информацию о возрастном состоянии основных производственных фондов и степень их износа.

Для планирования основных фондов в условиях интенсификации производства важную роль играет определение цикла воспроизводства или среднего срока службы средств труда.

Также предприятие, формируя учетную политику должно обращать особое внимание на амортизационную политику предприятия, что в свою очередь повлияет на «Амортизационный фонд». Также в учетной политике предприятия необходимо четко прописать, каким образом будет этот фонд использоваться и следить за его целевым расходованием.

В соответствии с Конституцией СССР – 1978 г., предприятия должны укреплять государственную (общенародную) собственность на средства производства в промышленности, строительстве, агропромышленном комплексе и других отраслях.

В Конституции СССР от 1 декабря 1988 г. с изменениями и дополнениями в главе 2 Экономическая система, статья 10 «...государство охраняет социалистическую собственность и создает условия для ее преумножения...». Статья 15 «...Государство обеспечивает рост производительности труда, рост эффективности производства и качества работы...» [3].

В соответствии с этими статья Конституции бухгалтерский учет (учитывая основное правило двойной записи) имел вид (таблица 1).

1 Начислена амортизация, то есть произошло уменьшение стоимости основных фондов. Амортизация включена в себестоимость, что в свою очередь на эту же величину уменьшает прибыль (как внутренний источник собственного капитала).

2 Доход (реализованная продукция) компенсирует затраты. Если зарплата, начисления на зарплату, материальные затраты употреблены полностью, то амортизация в виде денежных средств отражена в оборотных активах по строке «денежные средства».

3 Денежные средства, полученные в виде амортизации перечислены в амортизационный фонд в Промстройбанк (велись статистические формы Ф-5 и Ф-7), в который предприятия отражало перечисленную государству в централизованные фонды амортизацию и возмещение из этого фонда новых ОПФ. В балансе предприятия происходило изменение как по активу, так и по пассиву.

В Конституции Российской Федерации нет главы экономическая система и ничего не прописано о преумножении собственного капитала и повышении производительности труда [4].

Бухгалтерский учет имеет вид (таблица 2).

1 Начислена амортизация, то есть уменьшена стоимость основных фондов и снижена величина прибыли за счет включения амортизации в себестоимость.

2 Получен доход в виде денежных средств, который отражен в активе. В пассиве отсут-

*Таблица 1 – Бухгалтерский учет с учетом правила двойной записи*

Показатель	Актив		Пассив	
	ВА	ОА	СК	ЗК
1 Начислена амортизация	-		-	
2 Получен доход		+	+	
3 Сформирован «Амортизационный фонд»				
3.1	+	-		
3.2			-/+	

*Таблица 2 – Бухгалтерский учет без учета правила двойной записи*

Показатель	Актив		Пассив	
	ВА	ОА	СК	ЗК
1 Начислена амортизация	-		-	
2 Получен доход		+		
3 Сформирован «Амортизационный фонд»				

ствуется, так как собственный капитал изменяется на величину чистой прибыли.

$$\text{Чистая прибыль} = \text{Выручка} - \left( \begin{array}{l} \text{Зарплата} + \\ + \text{Начисления на зарплату} + \\ + \text{Материальные затраты} + \\ + \text{Амортизация} + \text{Прочие затраты} \end{array} \right) \pm \text{Сальдо прочей деятельности}.$$

3 Амортизационный фонд предприятия не формируют. Фонд развития производства, если и формируется, то из чистой прибыли, а не за счет амортизационных отчислений.

На наш взгляд, нарушен принцип двойной записи, что очень затрудняет целевое использование амортизации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Новодворский, В.Д. Бухгалтерский учет производственных ресурсов (вопросы теории и практики) / В.Д. Новодворский. - М.: Финансы и статистика, 1989.
- 2 Экономический строй социализма. Т.2. -М.: Экономика, 1984.
- 3 Конституция (основной закон) Союза Советских Социалистических Республик: с изм. и доп., внесенными Законом СССР, на внеочередной сес. Верхов. Совета СССР одиннадцатого созыва 1 дек. 1988 г. -М., 1988.
- 4 Конституция Российской Федерации. -М.: Омега-Л, 2010.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** амортизация, основные фонды, целевое использование  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Кожухарь Владимир Игнатьевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
Сергеева Татьяна Сергеевна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
Варчак Полина Владимировна, аспирант ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 603950, г. Н. Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СООТНОШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОРТОВ И ПРОВОЗНОЙ СПОСОБНОСТИ ФЛОТА ОТ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ

ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

**В.И. Кожухарь, П.В. Варчак, А.В. Варчак**

**INVESTIGATION OF THE DEPENDENCE RATIO PORT CAPACITY AND PRO-FUSS ABILITY OF THE FLEET OF OPERATIONAL AND ECONOMIC PARAMETERS OF THE SYSTEM**  
«Volga state academy of water transport»  
V.I. Kozhukhar, P.V. Varchak, A.V. Varchak

The scientific and methodological provisions of the solution of the optimization of the fleet in the ports of the basin the regional aspects, based on statistics on the use of naval and port mechanization summed over shipping companies in the region pool information. A complex of experimental calculations of the model.

*Keywords: scientific-methodical provision of fleet optimization system ports*

Разработаны научно-методические положения решения задачи оптимизации системы флот-порты в бассейновом региональном аспектах, основанные на статистике по использованию флота и портовой механизации суммированной по судоходным кампаниям бассейна региона информации. Выполнен комплекс экспериментальных расчетов по разработанной модели.

В основе указанных исследований требуется создание теоретических основ интегральной методики оптимизации  $Z$  и  $\Pi$ . Математическим аппаратом создания такой методики должна служить теория массового обслуживания., позволяющая обосновывать производственные мощности обслуживающих систем в зависимости от интенсивности потока заявок на обслуживание и длительности их обслуживания.

Существует множество экономико-математических моделей теории массового обслуживания в зависимости от технологии обслуживания и теоретических законов распределения случайных величин, которыми аппроксимируются и длительность обслуживания, и интенсивность поступления заявок на обслуживание.

В простейшем виде, когда поток заявок на обслуживание подчиняется (можно аппроксимировать) Пуассоновскому закону распределения случайной величины, а длительность обслуживания аппроксимируется показательным законом распределения случайной величины, формула расчета длительности ожидания обслуживания имеет вид: (в настоящее время при отсутствии централизованного регулирования стратегических планов на водном

транспорте принятые посылки очевидны)

$$t_{ож} = \frac{\varphi}{1-\varphi} t_{обсл}, \quad (1)$$

где  $t_{ож}$  – длительность ожидания обслуживания, сут.;

$\varphi$  – коэффициент использования обслуживающей системы

$$\varphi = \lambda/\mu; \quad (2)$$

$t_{обсл}$  – продолжительность обслуживания, сут.;

$\lambda$  – интенсивность поступления заявок на обслуживание (для речников), ед./сут.;

$\mu$  – интенсивность обслуживания заявок системой, ед./сут.

Трудами С.М. Пьяных [2, 3] было доказано, что это весьма приближенная формула, которая дает хорошие результаты при средних значениях, поскольку поток заявок на обслуживание и самообслуживание более адекватно отражаются при регулировании другими законами распределения случайной величины, поскольку транспортный процесс хоть и носит параметры стохастичности, но в какой-то степени регулируемый (диспетчерские по движению и обслуживанию флота, БУП, порты). Поэтому в формулу (1) учеными был внесен коэффициент  $\kappa$ .

Соответствующие научно-методические разработки поставленные в начале статьи проблемы были выполнены в [1]. В соответствии с этими разработками приведенные затраты по флоту за время ожидания грузовой обработки и его грузовую обработку за навигацию можно описать следующей формулой

$$\sum Z_{\phi} = \frac{x \cdot \bar{t}_{\text{сп}}}{Q_s \cdot T_0 \cdot N - x \cdot \bar{t}_{\text{сп}}} \cdot \bar{t}_{\text{сп}} \cdot k \cdot \frac{x}{Q_s} (\bar{\mathcal{E}}_{\phi} + E \cdot \bar{K}_{\phi}) + \bar{t}_{\text{сп}} \cdot \frac{x}{Q_s} (\bar{\mathcal{E}}_{\phi} + E \cdot \bar{K}_{\phi}), \quad (3)$$

где  $m$  – судопоток, количество отправок, ед.

$$m = \frac{G}{Q_s} = \frac{x}{Q_s};$$

$x$  – объём перевозок груза, тыс. т;

$\bar{Q}_s$  – эксплуатационная загрузка среднего типа грузового судна (дифференцировано по роду груза из ВТ-6,8);

$T_0$  – период отправления, сут.;

$N$  – количество взаимозаменяемых причалов по роду груза в порту из ВТ-22, 24;

$\bar{t}_{\text{сп}}$  – среднее время грузовой обработки по роду груза среднего по грузоподъёмности судна из ВТ-6, 8, сут.

$\bar{\mathcal{E}}_{\phi}$  – средние суточные расходы по флоту из Б-3, дифференцированные по роду груза, руб./сут.;

$\bar{K}_{\phi}$  – средняя строительная, восстановительная, балансовая, остаточная стоимость флота, руб./сут.;

$E$  – коэффициент приведения.

Правомерность использования коэффициента в рыночных условиях объясняется следующим: если  $E=0,1$ , это соответствует коэффициенту дисконтирования на 20 год работы флота при расчетной ставке процента 10.

В дальнейших формулах суточные приведенные затраты будем обозначать  $Z_{\phi}$ .

Приведенные затраты по порту за время грузовой обработки флота и простоя из-за отсутствия флота за навигацию опишем выражением

$$\sum Z_n = \bar{t}_{\text{сп}} \frac{x}{Q_s} (\bar{\mathcal{E}}_p + E \cdot \bar{K}_n) + \left( N \cdot T_n - \bar{t}_{\text{сп}} \frac{x}{Q_s} \right) (\bar{\mathcal{E}}_{\text{сп}} + E \cdot \bar{K}_n), \quad (4)$$

где  $\bar{\mathcal{E}}_p$  – суммарные эксплуатационные расходы по всем элементам порта за время работы (статистические данные), руб./сут.;

$\bar{\mathcal{E}}_{\text{сп}}$  – суммарные эксплуатационные расходы по всем элементам порта за время отсутствия работы (статистические данные), руб./сут.;

$\bar{K}_n$  – средняя строительная, восстановительная, балансовая, остаточная стоимость всех сооружений порта, руб./сут.

Исходя из формул (3) и (4) получаем базовую формулу (5). Выполнив алгебраические преобразования, получаем формулы (6) и (7). Получаем формулу, от которой берем производную (8).

$$\left\{ \frac{3_{\phi} t_{\text{эп}} x}{Q_3} \left[ \frac{x t_{\text{эп}} k}{Q_3 T_0 N - x t_{\text{эп}}} + 1 \right] + \left[ 3_n^p t_{\text{эп}} \frac{x}{Q_3} + 3_n^{\text{cm}} \left( N T_H - t_{\text{эп}} \frac{x}{Q_3} \right) \right] \right\} = 0; \quad (5)$$

$$\frac{3_{\phi} t_{\text{эп}}^2 x^2 k}{Q_3 (Q_3 T_0 N - x t_{\text{эп}})} + \frac{3_{\phi} t_{\text{эп}} x}{Q_3} + \frac{3_n^p t_{\text{эп}} x}{Q_3} + 3_n^{\text{cm}} N T_H - \frac{3_n^{\text{cm}} t_{\text{эп}} x}{Q_3} = 0; \quad (6)$$

$$\frac{3_{\phi} t_{\text{эп}}^2 x^2 k}{Q_3 (Q_3 T_0 N - x t_{\text{эп}})} + (3_{\phi} + 3_n^p - 3_n^{\text{cm}}) \frac{t_{\text{эп}} x}{Q_3} + 3_n^{\text{cm}} N T_H = 0; \quad (7)$$

$$\left[ \frac{3_{\phi} t_{\text{эп}}^2 x^2 k}{Q_3} + (3_{\phi} + 3_n^p - 3_n^{\text{cm}}) \frac{t_{\text{эп}} x (Q_3 T_0 N - x t_{\text{эп}})}{Q_3} + 3_n^{\text{cm}} N T_H (Q_3 T_0 N - x t_{\text{эп}}) = 0 \right]'. \quad (8)$$

Производная от выражения (8) в конечном виде

$$x = \frac{t_{\text{эп}} N \left[ 3_n^{\text{cm}} T_H - (3_{\phi} + 3_n^p - 3_n^{\text{cm}}) T_0 \right] Q_3}{2 t_{\text{эп}}^2 \left[ 3_{\phi} k - (3_{\phi} + 3_n^p - 3_n^{\text{cm}}) \right]} = \frac{N Q_3 \left[ 3_n^{\text{cm}} T_H - (3_{\phi} + 3_n^p - 3_n^{\text{cm}}) T_0 \right]}{2 t_{\text{эп}} \left[ 3_{\phi} k - (3_{\phi} + 3_n^p - 3_n^{\text{cm}}) \right]}. \quad (9)$$

Расчеты на основании формулы (9) выполнены частично и приведены на рисунке.

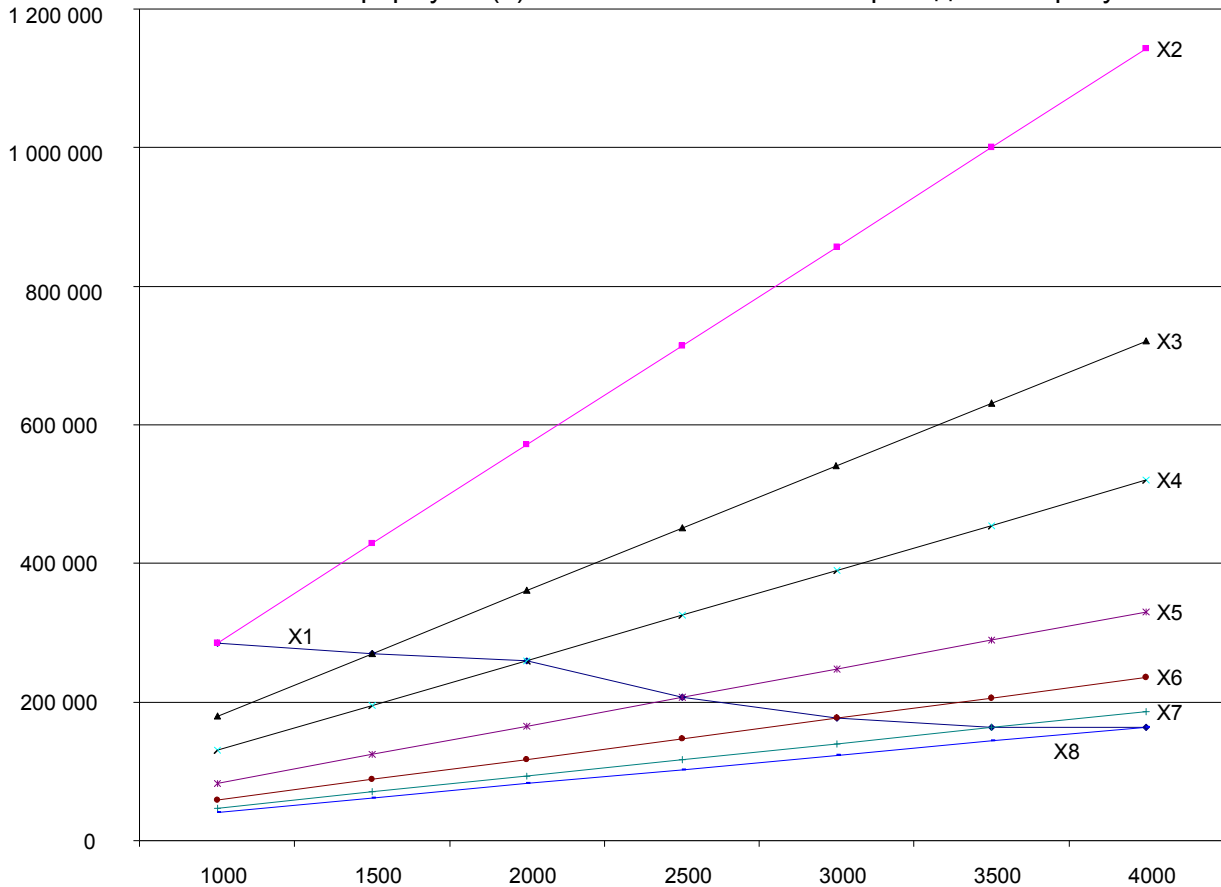


Рисунок – Результаты расчета

Расчеты выполнялись при фиксированных размерах средней грузоподъемности грузового флота по оси абсцисс и оптимальных объемах грузооборота системы флот-порт по оси ординат. При этом прочие эксплуатационно-экономические параметры системы флот-порт фиксированы. Объем расчетного материала чрезвычайно велик, поэтому выбраны параметры системы, которые фиксировались в данной работе.

Во всех графиках зафиксированы  $K, \phi, N, T_H$ , хотя они являются переменными.

Главное, важнейшим параметром, определяющим провозную способность конкретной системы флот-порт, является грузооборот порта, главным образом зависящий от интен-

сивности грузовых работ фронтальной механизации остальные параметры имеют, на наш взгляд, второстепенное значение, что требует крупномасштабных расчетов для уточнения степени их влияния с любой дифференциацией. Именно этот факт подтверждает и зарубежная практика, где коэффициент резерва пропускной способности фронтальной механизации многократно превышает единицу. Отдельно следует исследовать в рамках этой модели. Стоимость грузовой массы перевозимых товаров, но это отдельная большая задача перспективного маркетинга.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Абдулин, Г.Х. Разработка теоретических основ интегрированной методики оптимизации пропускной способности портов и провозной способности флота / Г.Х. Абдулин, П.В. Варчак. -Н.Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2008. -133 с.
- 2 Пьяных, С.М. Исследование задач моделирования и нормирования движения и обслуживания судов / С.М. Пьяных // Тр. ГИИВТ. -1975. -Вып.146: Оптимальное планирование работы флота. -С. 169.
- 3 Пьяных, С.М. Элементы оптимизации управления работой флота / С.М. Пьяных. -Горький: ГИИВТ, 1970. -150 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** научно-методические положения по оптимизации системы флот-порты  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Кожухарь Владимир Игнатьевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
Варчак Полина Владимировна, аспирант ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
Варчак Андрей Валерьевич, аспирант ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 603950, г. Н. Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## ЭКОНОМИЧЕСКИЙ СМЫСЛ АМОРТИЗАЦИИ

ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

**В.И. Кожухарь, Т.С. Сергеева, П.В. Варчак**

**THE ECONOMIC MEANING OF AMORTIZATION**  
**«Volga state academy of water transport»**  
V.I. Kozhukhar, T.S. Sergeeva, P.V. Varchak

We consider the three functions of depreciation as an economic category: compensation fund, the element of cost of production and the accumulation fund. For each category examined the fundamental principles and identifies the problems associated with the third function of the depreciation.

*Keywords: amortization, fixed assets, depreciation functions*

Рассмотрены три функции амортизации как экономической категории: фонд возмещения, элемент издержек производства и фонд накопления. По каждой категории рассмотрены основополагающие принципы и обозначены проблемы, связанные с третьей функцией амортизации.

Обновление средств труда на современной технической основе и в соответствии с установленными оптимальными сроками их службы становится определяющим фактором интенсивного типа расширенного воспроизводства.

Переход к интенсивным формам развития экономики на основе технического перевооружения хозяйствующих субъектов связан, в том числе и с совершенствованием учета амортизационных отчислений, которые в большей мере, чем другие стоимостные рычаги, отражают натурально-вещественный кругооборот основных производственных фондов и показателей их технического состояния. Контроль за целевым использованием амортизации – важная функция управления, направленная на интенсификацию воспроизводства основных фондов и преумножение основного капитала предприятия.

Если возмещение основных средств, то есть их воспроизводство требует единовременного вложения амортизационного фонда, то создание этого фонда происходит постепенно, путем ежемесячных отчислений части стоимости продукта в особый фонд, создание которого, на сегодняшний день, не закреплено никакими нормативными актами.

Экономический смысл амортизации заключается в том, что часть стоимости средств производства, которая по мере снашивания покидает их, переносится на продукт труда, существует сначала как часть стоимости незавершенного производства, затем часть стоимости готовой продукции и только после реализации превращается в денежную сумму, предназначенную для возмещения износа.

В экономической литературе широкое распространение получила трактовка трех основных функций амортизации как экономической категории: фонд возмещение (по терминологии К. Маркса «резервный фонд»), элемент издержек производства и фонд накопления. По

нашему мнению, на сегодняшний день третья функция, а именно фонд накопления не контролируется с позиций бухгалтерского учета и не поддерживается Государством с точки зрения нормативных актов. Поэтому, опять же на наш взгляд, она требует дополнительного изучения, уточнения, доработки.

В практике налоговой службы многих зарубежных стран, в частности США, производится сопоставление величины накопленного амортизационного фонда с указанной в отчете суммой капитальных вложений в амортизационный основной капитал. Такое сопоставление позволяет налоговой службе определить соответствие производственных амортизационных отчислений первоначальной стоимости капитала.

Следует согласиться с предложениями отдельных экономистов, которые считают, что в соответствии с экономическим содержанием фонда возмещения плановый объем ввода в действие новых основных фондов взамен действующих старых, должен быть равен первоначальной стоимости ликвидируемых средств труда за вычетом величины их морального износа, вследствие которого произошла безвозмездная потеря части их стоимости [15]. Эта функция амортизации должна обеспечивать формирование источника финансирования для планомерной замены основных фондов.

Функция фонда возмещения амортизации должна стать средством контроля за воспроизводством. Каждое предприятие должно нести ответственность за сохранением и расширением своего производства, как это было до 90-х годов. Сегодня функция контроля амортизации за воспроизводством основных фондов утеряна полностью. Объясняется это, прежде всего тем, что предприятия самостоятельно используют амортизационные отчисления, в бухгалтерском учете нарушен принцип двойной записи.

Следующая функция амортизации – себестоимость. В себестоимость амортизация представляет самостоятельный элемент издержек производства. Удельный вес амортизационных отчислений в различных отраслях различный. На предприятиях транспорта, как фондоемкой отрасли, он значительный. Как правило, эти издержки относятся к условно-постоянным расходам. Правильный уход, содержание, обслуживание и ремонт ведут к увеличению срока службы основных производственных фондов, а увеличение объемов производства, в этой части, снижает удельные издержки. Другими словами, амортизация является экономическим рычагом, по экономному использованию основных фондов. Сегодня существует много теорий о значении амортизации. Нам ближе всего точка зрения О.И. Ожерельева, который считает, что в ходе обращения стоимости основных фондов амортизация по своему назначению должна возместить не издержки производства, а издержки воспроизводства и соответственно не затраты на приобретение израсходованных фондов, а затраты, необходимые на их возмещение. Величина амортизации зависит от метода ее исчисления. В литературе существуют различные направления начисления амортизации: равномерный, дегрессивный и прогрессивный. Различные методы амортизации влияют на сроки создания и величину амортизационного фонда.

То есть различные методы амортизации – это инструмент скорости возмещения основных средств.

Характерной особенностью последних лет является бурный рост уровня автоматизации производства. Тенденция к автоматизации предполагает сокращение экономически целесообразных сроков службы оборудования. Амортизационный фонд сформируется за более короткий срок времени, что позволит быстрее обновлять морально устаревшее оборудование. На наш взгляд, сегодня целесообразно применять на предприятиях транспорта дегрессивный метод начисления амортизации, который заключается в следующем:

- годовые суммы амортизационных отчислений в течение срока службы имеют разные размеры во времени;
- большая доля амортизационных отчислений приходится на первые годы;
- амортизация исчисляется по формулам арифметической или геометрической прогрессии.

Однако это не значит, что предприятие не может выбрать прогрессивный метод начисления амортизации, который является обратным вариантом дегрессивного метода. На наш взгляд, не вызывает сомнения, что различные методы начисления амортизации нужны для того, чтобы заинтересовать предприятия в непрерывном обновлении основных производственных фондов. Предприятия должны сами устанавливать перечень основных средств, в соответствии с которым для этих групп будут использоваться различные методы начисления амортизации.

Что касается третьей функции – фонда накопления, то она на, сегодняшний день, забыта полностью. Нет контроля, который обеспечивает бухгалтерский учет, нет контроля со стороны государства, нет механизма, который обеспечивает защиту этого фонда от инфляции. Сегодня необходимо обратить внимание на механизмы сохранения и целевого использования «Амортизационного фонда». Только это позволит сделать прорыв в интенсификации производства. Только это позволит добиться глубоких сдвигов в экономике.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** амортизация, основные фонды, функции амортизации

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Кожухарь Владимир Игнатьевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
Сергеева Татьяна Сергеевна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
Варчак Полина Владимировна, аспирант ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 603950, г. Н. Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## **ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЕМКОСТНОГО И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО НАКОПИТЕЛЯ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ ПЛАВКРАНА**

**ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»**

**А.А. Борисов, В.М. Зырянов, И.Г. Фютик**

**ASSESSING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF CAPACITIVE AND ELECTROMECHANICAL ENERGY STORAGE IN THE POWER FLOATING CRANE**

**«Novosibirsk state academy of water transport»**

A.A. Borisov, V.M. Zyryanov, I.G. Fyutik

The article presents a comparative evaluation of cost-effectiveness of two different types of energy storage in the ship's power system floating crane.

*Keywords: economic efficiency, independent power supply system, load diagram, energy storage*

Выполнена сравнительная оценка экономической эффективности применения двух различных типов накопителей энергии в судовой энергосистеме плавкрана.

Анализ графиков нагрузки различных судовых автономных энергосистем [1], даёт возможность определить параметры накопителя энергии (НЭ), необходимого для выравнивания нагрузочной диаграммы судовой электростанции до среднециклового значения: мощность, энергоёмкость и быстродействие. Мощность дизель-генераторного агрегата (ДГА) судовой электростанции при этом целесообразно выбирать не по максимальной расчётной нагрузке, а по среднецикловой. В этом случае она оказывается значительно меньше, чем в традиционной судовой энергосистеме без накопителя.

В данной статье проводится сравнительная оценка экономической эффективности [2] применения двух различных типов НЭ в судовых энергосистемах, связанных с установкой и обслуживанием энергетической установки с НЭ.

Расчёты произведены для типовой схемы энергосистемы и для альтернативных ей вариантов с наиболее перспективными, с точки зрения авторов, НЭ: ёмкостным (ЁН) и электромеханическим (ЭМН) с одинаковой обменной энергоёмкостью 2 МДж.

Для каждого из вариантов судовой энергосистемы с НЭ рассматриваются два различных типа электропривода (ЭП) крановых механизмов: традиционный ЭП с асинхронными двигателями с фазным ротором (АДФР) и частотный ЭП с асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором (АДКР). Во втором случае обеспечивается плавный, без повышенных пусковых токов и электромеханических перегрузок разгон двигателей, что увеличивает срок их эксплуатации и уменьшает затраты на ремонт и обслуживание. Экономия электроэнергии при этом составляет от 30 до 40%.

Экономическое обоснование выполнено на примере плавкрана КПЛ 18-82 (мощность ДГА 300 кВт), для которого сравниваются следующие пять вариантов организации судовой энергосистемы:

- базовый вариант – судно до переоборудования со штатным ДГА 300 кВт и без НЭ;
- проектный вариант №1 – штатный ДГА заменён на ДГА меньшей мощности (100 кВт) с ЭМН. Для привода используются АДФР.
- проектный вариант №2 – штатный ДГА заменён на ДГА меньшей мощности (100 кВт) с ЁН. Для привода используются АДФР.

– проектный вариант №3 – штатный ДГА заменён на ДГА меньшей мощности (100 кВт) с ЭМН. Установлен частотный привод и АДКЗР.

– проектный вариант №4 – штатный ДГА заменён на ДГА меньшей мощности (100 кВт) с ЁН. Используются АДКЗР с автономными инверторами напряжения.

Основные технические характеристики ЭМН на базе машины двойного питания (МДП) с управлением со стороны ротора для проектных вариантов №1 и 3 представлены в таблице 1.

Основные технические характеристики ЁН энергии, в качестве которого выбраны конденсаторы компании «ЭЛТОН» [3], для проектных вариантов №2 и 4 представлены в таблице 2.

Составляющие капиталовложений на дизель-генераторную установку энергосистемы для всех пяти вариантов сведены в таблицу 3.

Результаты сравнительной оценки экономической эффективности представлены в таблице 4.

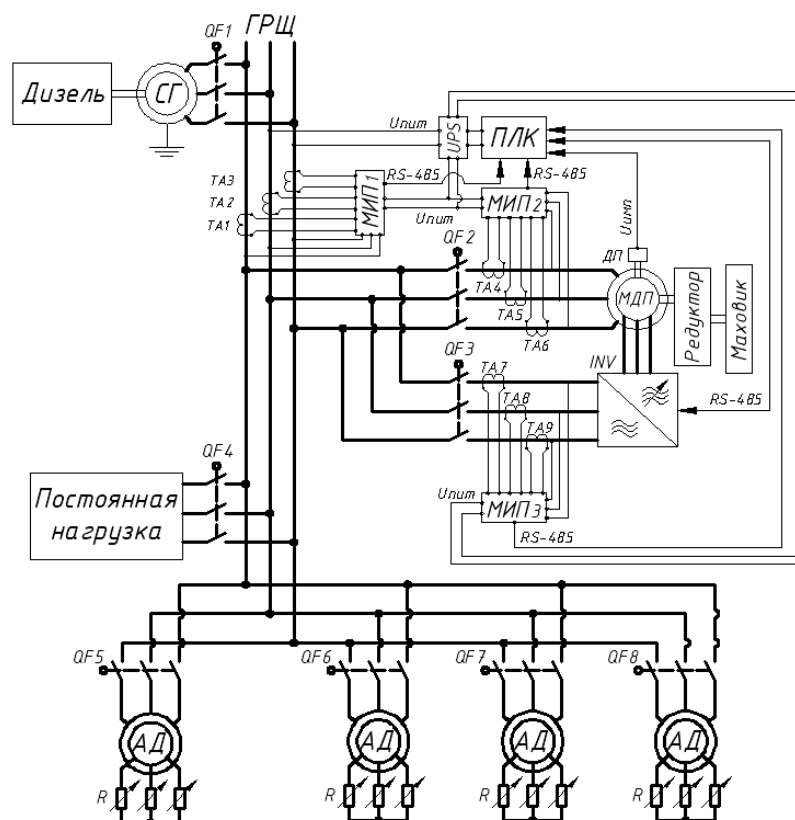
Схемы энергоустановки плавкрана для каждого рассматриваемого варианта приведены на рисунках 1-4. На рисунках используются следующие обозначения: СГ-синхронный генератор; АД-асинхронный двигатель; ГРЩ-главный распределительный щит; МИП-многофункциональный измерительный прибор; ТА-трансформатор тока; ПЛК-программируемый логический контроллер; UPS-источник бесперебойного питания; QF-автоматический выключатель; INV-преобразователь (инвертор) частоты; ДП-датчик положения ротора; R-сопротивление; Uпит-напряжение питания; RS-485-последовательный интерфейс связи; УВ-управляемый выпрямитель; ДН-датчик напряжения; БП-блок питания; К-полупроводниковые реле.

*Таблица 1 – Основные технические характеристики ЭМН*

Параметр	Значение
Номинальная мощность, кВт	55
Максимальная мощность, кВт	250
Напряжение, В	380
Полная энергоёмкость, МДж	3,55
Быстродействие, с	0,01-0,1

*Таблица 2 – Основные технические характеристики ЁН*

Параметр	Значение
Номинальная мощность, кВт	110
Максимальная мощность, кВт	1012
Диапазон рабочих напряжений, В	270-360
Емкость, Ф	110
Полная энергоёмкость, МДж	7,1
Время разряда при номинальной мощности, с	22
Быстродействие, с	0,005



*Рисунок 1 – Электрическая схема подключения проектного варианта №1*



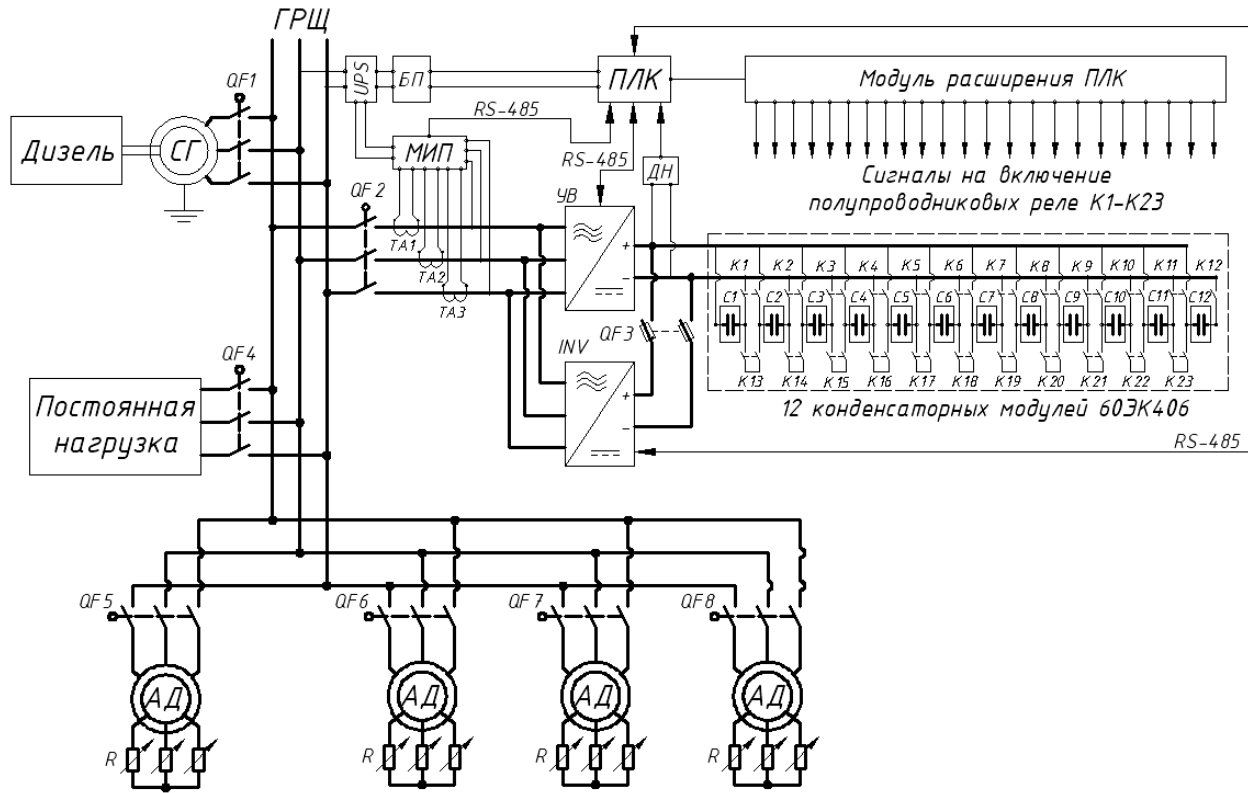


Рисунок 2 – Электрическая схема подключения проектного варианта №2

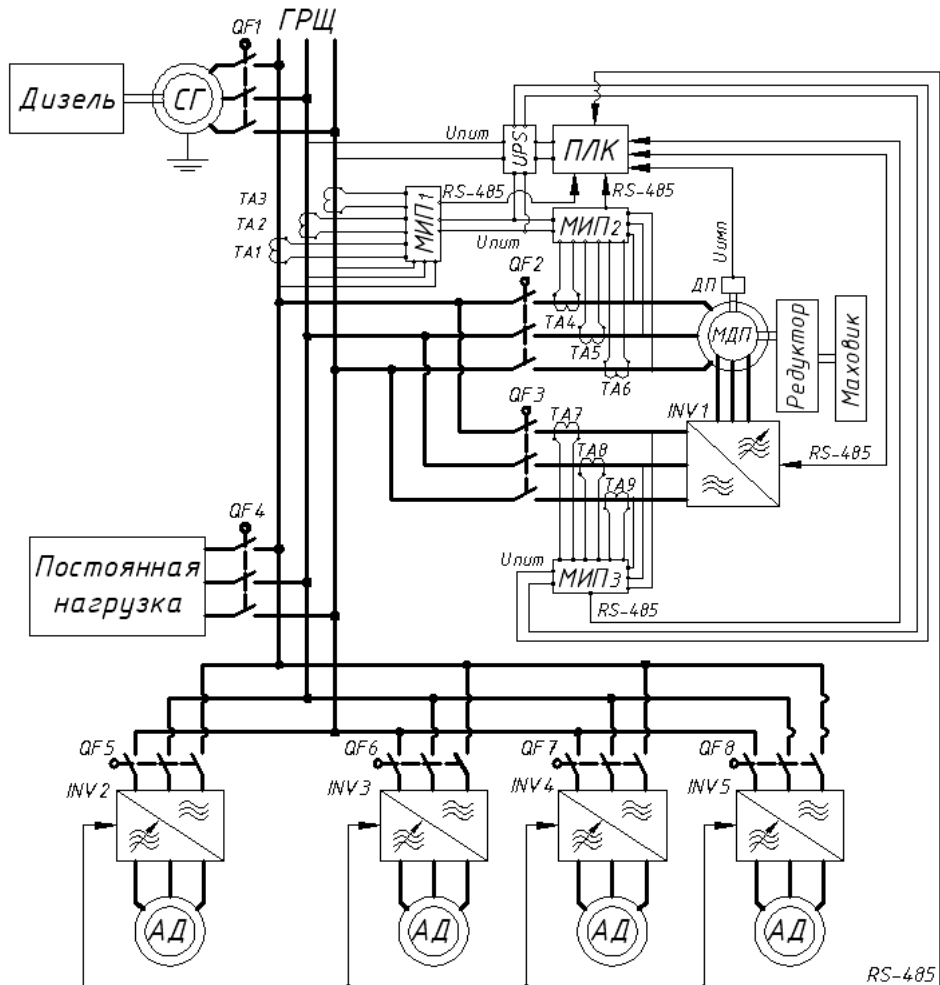


Рисунок 3 – Электрическая схема подключения проектного варианта №3

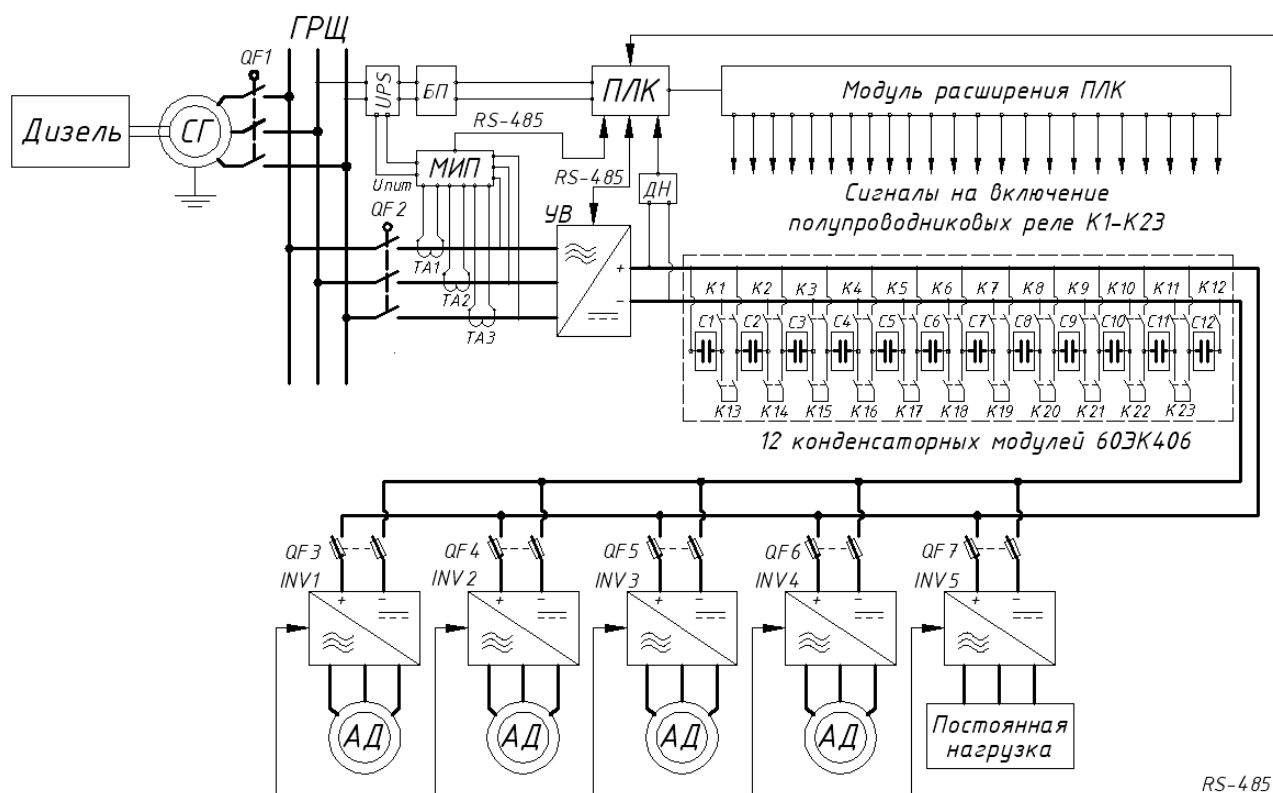


Рисунок 4 – Электрическая схема подключения проектного варианта №4

Таблица 3 – Капиталовложения в дизель-генераторную установку

Вариант установки	Наименование	Мощность, кВт	Производитель	Стоимость, тыс.руб.
Базовый	ДГР 1А 300/750	300	ОАО «РУМО»	9160
Проектный	ДГР А 100/750	100	ОАО «Дальдизель»	2100

Таблица 4 – Основные экономические показатели установок (по вариантам)

Наименование показателя	Базовый	№1	№2	№3	№4
Капиталовложения, тыс. руб.	10260,2	3910,1	8779,6	4373,1	8971,6
– электрическая часть, тыс. руб.	700,2	1362,9	6332,4	1725,9	632,4
– механическая часть, тыс. руб.	9160,0	2100,0	2100,0	2100,0	2100,0
– установка, тыс. руб.	400,0	447,2	347,2	547,2	547,2
Эксплуатационные расходы, тыс. руб.	4390,7	2142,9	2804,4	1752,7	2364,7
– заработная плата, тыс. руб.	220,1	220,1	220,1	220,1	220,1
– ремонт, тыс. руб.	433,9	152,4	371,0	168,3	370,7
– амортизация, тыс. руб.	759,2	266,6	649,3	294,6	648,7
– ГСМ, тыс. руб.	2858,2	1461,9	1461,9	1023,4	1023,4
– прочее, тыс. руб.	119,3	41,9	102,0	46,3	102,0
Себестоимость, руб./т	13,70	6,69	8,75	5,47	7,38
Приведенные затраты, тыс. руб.	5652,0	2612,1	3857,9	2277,5	3441,3
Чистый экономический эффект, тыс. руб.	2322,9	4840,1	3977,0	5202,8	4393,0
Экономическая эффективность, руб./руб.	0,41	1,85	1,03	2,28	1,28
Экономическая эффективность капитальных вложений, руб./руб.	0,27	1,29	0,50	1,24	0,54
Срок окупаемости, лет/месяцев	3,67/44	0,78/9	2,00/24	0,80/10	1,86/22

Экономический эффект от применения НЭ в судовой энергосистеме плавкрана складывается в основном за счёт экономии топлива. Так, по проектным вариантам №1 и №2 эксплуатационные расходы на топливо уменьшаются вдвое по сравнению с базовым вариантом. А замена традиционной системы электропривода с АДФР на современные частотно-регулируемые электроприводы с АДКЗР (проектные варианты №3 и №4) сокращает расходы на топливо ещё на 30%. Как следует из таблицы 4, наиболее выгодным и перспективным вариантом, с точки зрения модернизации, срока окупаемости и годовых эксплуатационных

расходов, является проектный вариант №3 с ЭМН и ДГА (100 кВт).

На основании представленных расчетов, можно сделать вывод о целесообразности включения НЭ в состав судовой энергосистемы, и модернизации системы управления ЭП уже на стадии проектирования плавкрана.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Алемасов, В.А. Оценка перспектив снижения расхода топлива в судовой энергосистеме с накопителем энергии / В.А. Алемасов, А.А. Борисов, В.М. Зырянов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№2. -С. 215-218.

2 Фюттик, И.Г. Методические указания по выполнению эколого-экономического раздела выпускной квалификационной работы студентов, обучающихся по специальности 280202 «Инженерная защита окружающей среды» / И.Г. Фюттик. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2010. -33 с.

3 Электрохимические конденсаторы ЗАО «ЭЛТОН» [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.elton-cap.ru>.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** экономическая эффективность, автономная энергосистема, нагрузочная диаграмма, накопитель энергии

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Борисов Александр Александрович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Зырянов Вячеслав Михайлович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Фюттик Ина Геннадьевна, канд. экон. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## **ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СХЕМ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ) В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ СУХОПУТНОЙ ОПОРНОЙ СЕТИ**

ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

**Ю.Н. Уртминцев**

### **FORECAST OF TRANSPORT SCHEMES CHANGE OF CARGOES DELIVERY IN THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA) IN THE CONDITIONS OF DEVELOPMENT OF AN OVERLAND BASIC NETWORK**

«Volga state academy of water transport»

Yu.N. Urtmintsev

Article is devoted to a problem of definition of economically rational sphere of use of river transport in the conditions of creation systems of overland communications in Yakutia as well as to identification of the main directions of transportations on which the river enterprises will be competitive.

*Keywords: Republic of Sakha (Yakutia), transport schemes, delivery of cargoes, river transportations*

Рассмотрена проблема определения экономически рациональной сферы использования речного транспорта в условиях создания в Якутии системы сухопутных коммуникаций и выявлению основных направлений перевозок, на которых речные предприятия будут конкурентоспособны..

В ближайшее десятилетие, в связи с созданием сухопутной опорной транспортной сети в Республике Саха (Якутия), включающей железнодорожные и автомобильные магистрали, могут существенно измениться транспортные схемы доставки грузов. При этом могут измениться и условия работы региональных судоходных компаний, а именно грузовая база и, соответственно, объемы и направления перевозок. Эти изменения, естественно, потребуют корректировки технической и экономической политики транспортных предприятий в области обновления флота, организации производственной и коммерческой деятельности, формирования тарифов.

Основная цель представленных в настоящей работе исследований – определение экономически рациональной сферы использования речного транспорта в условиях создания в Якутии системы сухопутных коммуникаций и выявление основных направлений перевозок, на которых речные предприятия будут конкурентоспособны.

Под схемой доставки груза будем понимать схему освоения грузопотоков определенно-го направления, характеризующую конкретным маршрутом перевозок с указанием вида транспорта, используемого на каждом участке маршрута, и пунктов перевалки.

В целях охвата существующих и потенциально возможных в перспективе грузопотоков рассматриваются транспортные связи между всеми основными экономическими районами Якутии. При этом учитывается также наличие внешних связей с другими регионами страны (входные и выходные направления). Характеристика транспортно-экономических районов приведена в таблице.

В целях возможности количественного расчета стоимости доставки грузов в каждом транспортно-экономическом районе установлены базовые пункты. Как правило, в качестве таких пунктов приняты наиболее значимые транспортно-экономические узлы, на основе которых в дальнейшем будут созданы распределительно-накопительные (логистические) центры. Характеристика базовых пунктов приведена в таблице.

В рассмотрение были введены все технологически возможные и экономически разумные варианты схем доставки грузов для каждого направления перевозок соответственно на перспективу 2012-2015 гг. (введена в эксплуатацию железная дорога до п. Нижний Бестях) и 2020 г. (введены в эксплуатацию мостовой автомобильно-железнодорожный переход в г. Якутске, а также опорные сухопутные пути, предусмотренные перспективным планом развития производительных сил Якутии). В проведенных расчетах используется по одному базовому пункту в каждом экономическом районе республики.

*Таблица – Основные транспортно-экономические районы и узлы Республики Саха (Якутия) и транзитные входные (выходные) пункты*

Наименование транспортно-экономического района	Базовые пункты для расчетов
1 Центральная Якутия	Якутск, Н.Бестях
2 Западная Якутия	Мирный, Нюрба, Удачный
3 Средняя Лена	Витим, Ленск, Олекминск
4 Южная Якутия	Алдан, Томмот
5 Юго-Восточная Якутия	Амга, Усть-Мая
6 Восточная Якутия	Хандыга, Джебарики, Усть-Нера, Тополиное
7 Северно-западная Якутия	Оленек, Юрунг-Хая
8 Северная центральная Якутия	Тикси, Нижнеянск, Депутатский, Верхоянск
9 Северно-Восточная Якутия	Белая Гора, Зырянка, Среднеколымск
10 Европейская часть России, Сибирь (через Усть-Кут)	Усть-Кут, Осетрово
11 Европейская часть России, Сибирь (СМП через Тикси)	Тикси
12 Хабаровский край, Амурская обл.	Тында
13 Магаданская область	Магадан
14 Таймырский автономный округ	Хатанга

В схемах доставки на 2012-2015 гг. принято наличие в эксплуатации следующих объектов транспортной опорной сети Якутии:

- железнодорожный путь Тында-Нижний Бестях;
- автомобильные дороги «Лена», «Колыма», «Вилюй» (Якутск-Мирный-Удачный), «Амга» (Нижний Бестях- Усть-Мая).

В схемах доставки на 2020 г. принято наличие следующих объектов:

- Железнодорожные пути: Усть-Кут -Непа-Витим-Ленск; Хани-Олекминск; Нижний Бестях- Усть-Нера.

- Автомобильные пути: «Лена» (Якутск-Большой Невер); «Вилюй» (Якутск-Мирный-Удачный), «Колыма» (Нижний Бестях-Магадан), «Кобяй» (Кобяй- Бясь-Кюель), «Амга» (Якутск-Амга- Усть-Мая -Эльдикан-Югоренок-Аян), «Анабар» (Мирный-Удачный-Оленек), «Яна» (Тополиное- Усть-Куйга -Депутатский), «Индибир» (Усть-Нера -Белая гора), «Арктика» (Усть-Нера -Хонуу-Зырянка)

- Железнодорожно-автомобильный мост в г. Якутск.

Все перечисленные объекты, в соответствии с перспективными планами развития транспорта, к указанным срокам будут находиться в круглогодичной эксплуатации.

Для экономической оценки альтернативных схем доставки грузов были проведены расчеты по определению полной стоимости доставки по каждому варианту. Полная стоимость доставки определялась как сумма тарифов по всей цепочке движения материального потока, включая оплату услуг перевозчиков (по совокупности участвующих в перевозках видов транспорта) и перегрузочных комплексов (погрузка, выгрузка, перевалка).

Расчеты проводились для условного груза, по транспортным и стоимостным характеристикам близкого к углю.

Анализ вариантов схем доставки грузов в Якутии по критерию «минимальная совокупная стоимость транспортировки» позволил установить на период 2012-2015 гг. следующие приоритеты.

**Схемы завоза (вывоза) грузов в республику (из республики).**

1 При завозе грузов из европейской части России и Сибири через Усть-Кут:

- для грузов, следующих в район Якутска (Центральную Якутию), схемы доставки железной дорогой или водой примерно равнозначны по стоимости, однако, учитывая круглогодичную работу железнодорожного транспорта, перевозка по железной дороге будет для клиентов предпочтительней, так как не требует завоза груза в размере годовой потребности;
- для грузов, следующих в Восточную Якутию и Магаданскую область, целесообразна доставка железной дорогой до Нижнего Бестяха с последующей перевалкой на речной транспорт (на Хандыгу) или автомобильный (на Магадан);
- доставка грузов в Западную Якутию (Мирный) наиболее выгодна по схеме: речным транспортом до Ленска, далее – автомобильным;
- на среднюю Лену (Олекминск) безальтернативным по стоимости доставки является речной транспорт;
- в Юго-Восточную Якутию (Усть-Мая) выгодны железнодорожно-водные схемы с доставкой по железной дороге до Томмота или Нижнего Бестяха, далее – рекой;
- в Северную западную Якутию оптимальная схема доставки грузов умеренной стоимости – по реке до Ленска, далее автотранспортом и по зимнику, для дешевых грузов возможна альтернативная схема – рекой до Юрюнг-Хаи, далее – зимником;
- в Северную центральную Якутию целесообразно завозить по железнодорожно-водной схеме с перевалкой в Нижнем Бестяхе; как альтернатива возможен водный маршрут Осетрово-Нижнеянск;
- для Северной восточной Якутии (до Белой Горы) – наиболее выгодна доставка водным транспортом.

2 При завозе грузов в республику с южного направления (через Тынду):

- в район Якутска – безальтернативен железнодорожный транспорт;
- в Западную Якутию целесообразно завозить по железнодорожно-водно-автомобильным схемам: Тында-Усть-Кут-Ленск-Мирный или Тында-Нижний Бестях-Ленск-Мирный;
- на Среднюю Лену – железнодорожно-водной схемой с перевалкой в Нижнем Бестяхе (или Кердеме);
- в Восточную и Юго-Восточную Якутию – железнодорожно-водной схемой с перевалкой в Томмоте или в Нижнем Бестяхе, а в Северную Якутию – с перевалкой в Нижнем Бестяхе;
- в Северные районы Якутии безальтернативны железнодорожно-водные схемы с перевалкой в Нижнем Бестяхе.

**Схемы доставки грузов между районами республики.**

1 При доставке грузов из Центральной Якутии (в Центральную Якутию):

- в Западную Якутию наилучшей схемой завоза является водно-автомобильная с перевалкой в Ленске;
- на среднюю Лену безальтернативна речная доставка;
- в Южную Якутию – железной дорогой;
- в Юго-Восточную и Восточную Якутию – рекой;
- в северные районы Якутии – водным транспортом.

2 При доставке грузов из Западной Якутии (Мирный) в Северную западную часть республики (Оленек) безальтернативным видом транспорта является автомобильный.

3 Доставку грузов между Западной Якутией и Северной центральной и восточной Якутией экономически целесообразно осуществлять по автомобильно-водной схеме с перевалкой в Ленске.

4 Завоз (вывоз) грузов на среднюю Лену (Олекминск) со всех направлений рационально осуществлять с использованием водного транспорта. При этом для грузопотоков на север безальтернативны прямые водные перевозки, на запад – водно-автомобильные с перевалкой в Ленске, на юг – водно-железнодорожные с перевалкой в Нижнем Бестяхе.

5 Перевозки из Южной Якутии на Север должны использовать железнодорожно-водные схемы с перевалкой в Нижнем Бестяхе.

6 Доставка грузов из Юго-Восточной и Восточной Якутии на Север безальтернативно тяготеет к прямому водному сообщению.

Аналогичные расчеты также были проведены для условий 2020 г., когда сухопутная транспортная сеть пополнится еще рядом автомобильных и железнодорожных магистралей.

Приведенная выше сравнительная оценка альтернативных схем доставки грузов потре-

бителям Якутии была произведена на основе критерия минимума совокупной стоимости доставки. На практике, выбирая конкретную схему доставки, лицо, принимающее решение, учитывает и другие факторы: скорость доставки груза, надежность выполнения сроков доставки, сохранность груза при перевозке, время накопления транспортной партии, сроки хранения в пунктах перевалки, потребность в оборотном капитале и т.д.

Для условий Якутии с сезонной работой водного транспорта, а на северных направлениях, как правило, и автомобильного (перевозка по зимникам), особую важность, наряду со стоимостью доставки, приобретает фактор времени. Направления с сезонными перевозками требуют доставки грузов в годовом объеме. Это приводит к «омертвлению» оборотного капитала грузовладельца, вложенного в грузы. Величина потерь грузовладельца от омертвления капитала зависит от ценности груза как товара, количества завозимого в сезон груза, сроков его вынужденного хранения, среднего уровня доходности капитала.

Эти потери для относительно дешевых грузов (до 3-5 тыс. руб./т) практически не влияют на выбор схемы доставки. Однако при перевозках грузов высокой стоимости данная составляющая становится существенной для грузовладельца и ее нужно учитывать при экономической оценке альтернативных схем завоза. Учет этой составляющей делает менее выгодными схемы с использованием сезонных видов транспортировки.

Представленные в настоящей работе результаты могут быть полезны региональным судоходным компаниям при разработке стратегических планов своего развития. Они позволяют спрогнозировать на перспективу изменение грузопотоков, тяготеющих к речному транспорту, и сформировать техническую политику развития флота, адекватную реальной сфере его будущего использования.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Республика Саха (Якутия), транспортные схемы доставки грузов, речные перевозки  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Уртминцев Юрий Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 603950, г. Н. Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## **ОСОБЕННОСТИ ТОРГОВО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ (НА ПРИМЕРЕ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА И КИТАЯ)**

**ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»**

**Н.Ю. Ревикатова**

**CHARACTERISTICS OF REGIONAL TRADE-ECONOMIC COOPERATION (AS SIBERIAN REGION AND CHINA)**  
**«Siberian state transport university»**  
N.Yu. Revikatova

The article speculates on the topic of international regional trade. Economic relationships with the EU, CIS and APEC as traditional Russian partners are discussed. Economic cooperation between Siberian regions and China is closely inspected: the tendencies are described, data analysis given, problems outlined and possible solutions proposed.

*Keywords: regional trade, Siberian region's trade with China, freight traffic*

Изучен вопрос регионального торгово-экономического сотрудничества, рассмотрены три традиционных для России направления: со странами ЕС, СНГ и АТЭС. Детально исследуется вопрос взаимодействия субъектов СФО с Китаем: определены тенденции, приведена статистика, выделены проблемы и возможные пути их решения.

Согласно данным Госкомстата РФ объем международной торговли России в 2010 году составил 649,2 млрд. \$ [1], что эквивалентно 43,8% ВВП страны. Доля России в мировой торговле – 2,26% (2010 г.).

Традиционно, внешнеэкономические связи РФ имеют три преобладающих направления развития: страны Европейского союза (далее ЕС); страны Содружества независимых государств (далее СНГ) и страны Азиатско-Тихоокеанского Форума Экономического Сотрудничества (далее АТЭС).

В 2010 году на долю стран ЕС пришлось 49% внешнеторгового оборота РФ (далее ВТО), что составило 306,2 млрд. \$ США. Внешняя торговля с ЕС характеризуется ввозом продукции машиностроения (43,6% в 2010 г.), химической промышленности (9,9%), а также

потребительских товаров в обмен на топливно-энергетические товары. Доля стран ЕС во внешнеторговом обороте субъекта постепенно снижается по мере приближения к восточной границе РФ: Северо-Западный ФО (50,4%) – Приволжский ФО (37,2%) – Сибирский ФО (23,2%) – Дальневосточный ФО (9,3%). Основные торговые партнеры СФО в Европе – Германия, Франция и Нидерланды.

Структура и проблемы экономики стран СНГ схожи. Доля стран СНГ во внешнеторговом обороте РФ составила 14,6% – 91,3 млрд. \$ в 2010 году [2]. На уровне округов наибольший объем внешней торговли со странами СНГ имеют Центральный, Приволжский, Уральский и Сибирский федеральные округа. Однако значимость торговли со странами СНГ распределяется следующим образом: доля стран СНГ в ВТО ЦФО составляет 8,3%, в ВТО ПФО – 28%, в ВТО УФО – 23,7%, в ВТО ЮФО – 37,4%. Основные торговые партнеры Сибирского федерального округа в СНГ – Казахстан, Украина и Киргизия.

Темп роста внешней торговли РФ со странами АТЭС в последние пять лет превышает темп роста внешней торговли России в целом. Доля внешней торговли РФ со странами АТЭС составила 23,3% (2010 г.).

Для Сибири и Дальнего Востока торгово-экономическое сотрудничество со странами АТЭС, несомненно, является приоритетным. В 2010 году доля стран АТЭС во внешнеторговом обороте Дальневосточного федерального округа составила 92%, а в ВТО Сибирского федерального округа – 38,7%.

Территория СФО составляет 30% территории России, население – более 20 млн. человек. СФО имеет положительное сальдо внешней торговли.

В 2010 году экспорт превысил импорт в 5,5 раз и составил 30,8 млрд. \$ [3]. Основные статьи экспорта СФО в 2010 года были минеральные продукты (36%) и топливно-энергетические товары (34,7%). Превалирующими статьями импорта в 2010 году стали машины и оборудование (34,6%), а также продукция химической промышленности (31,1%) [4].

На Китай приходится пятая часть внешней торговли Сибирского федерального округа (таблица) [5]. Значимость роли СФО в российско-китайской торговле подтверждается данными статистики: доля СФО во внешней торговле РФ в 2009 году составляла 7,3%, в то время как доля СФО в российско-китайском внешнеторговом обороте в 2009 году составила 18%. [6] Торговля с Китаем является ключевой для пяти из двенадцати субъектов СФО, еще в четырех она играет значительную роль. Наибольшее значение торговля с Китаем имеет для Забайкальского края (86,9%), Республики Тыва (49,5%) и Республики Бурятия (41,5%). Лидерами по объему торговли среди субъектов СФО выступают Иркутская (26,8%), Томская (21,6%) и Кемеровская (14,5%) области. Сибирский федеральный округ имеет положительное сальдо торгового баланса с Китаем: экспорт превышает импорт в 3 раза.

*Таблица – Внешняя торговля субъектов СФО с Китаем в 2010 г [4] (в процентах)*

Субъект СФО	доля Китая в экспорте субъекта	доля Китая в импорте субъекта	доля субъекта в экспорте в Китай	доля субъекта в импорте из Китая
Иркутская область	36,0	46,0	31,7	12,4
Томская область	н/д	н/д	23,1	5,5
Кемеровская область	8,8	16,5	17,6	5,5
Красноярский край	12,5	15,7	13,5	9,9
Республика Бурятия	42,0	39,0	6,7	3,4
Новосибирская область	15,0	41,7	4,4	29,8
Омская область	73,6	96,7	1,8	9,1
Республика Хакасия	0,0	0,1	0,8	3,8
Алтайский край	6,9	24,0	0,5	5,0
Забайкальский край	–	96,6	0,1	15,3
Республика Тыва	–	52,4	–	0,2
Республика Алтай	–	1,6	–	–

Основными экспортёрами в Китай среди субъектов СФО являются Иркутская (31,7% в 2010 г.), Томская (23,1%), Кемеровская области (17,6%) и Красноярский край (13,5%). Основные импортёры – Новосибирская (29,8%) и Иркутская области (12,4%), а также Забайкальский (15,3%) и Красноярский края (9,9%).

По данным ГТУ КНР, в течение 2010 г. объем торговли приграничных регионов Китая (провинции Хэйлунцзян, Цзилинь, Ляонин, АРВМ, СУАР) с Россией увеличился на 40,56% и составил 16,65 млрд. \$, то есть 65% от российско-китайской торговли. Российский экспорт

вырос на 37,14% до 11,77 млрд. \$, импорт увеличился на 49,6% до 4,86 млрд. \$. Наиболее значительным был рост внешней торговли Российской Федерации с провинцией Хэйлунцзян, уже длительное время занимающей первое место по данному показателю среди регионов КНР (+57,32%) [7].

В структуре российского экспорта в Китай основная доля поставок приходится на минеральные продукты (в основном продукция ТЭК) – 55,6% экспорта, древесина и целлюлозно-бумажные изделия – 14,2%, продукция химической промышленности – 14,0%, машины, оборудование и транспортные средства – 7,9%. Структуру импорта формируют: машины, оборудование и транспортные средства – 49,6%, текстиль, изделия из него, обувь – 18,5%. [8] По данным китайской статистики наиболее крупными позициями товарооборота в рамках российско-китайской приграничной торговли в 2010 г. в российском экспорте были: круглый лес (77,4% всего российского экспорта круглого леса); распиленные лесоматериалы (90,5% всего российского экспорта распиленных лесоматериалов) и хлорид калия. Основные статьи приграничного импорта из Китая в 2010: обувь, одежда, машины и оборудование.

Рассмотрим особенности внешней торговли отдельных субъектов СФО. Основу экспорта из Приангарья в КНР традиционно составляют лес, целлюлоза, нефтепродукты [9]. Всего на Китай приходится более трети регионального экспорта Иркутской области. По данным Иркутской таможни за 2010 год, 28,3% вывозимых из региона товаров – это топливно-энергетические товары в страны дальнего зарубежья, на втором месте машины и оборудование – 24,3%, на третьем – древесина и изделия из нее (15,8%). Область импортирует из стран дальнего зарубежья машины и оборудование (29,7% от общего импорта региона), продукцию химической промышленности (17%), а также металлы и изделия из них (17%).

Основная статья экспорта и импорта Новосибирской области во взаимоотношениях со странами дальнего зарубежья – машины и оборудование (в 2010: импорт – 44,8%, экспорт – 32,5%). Кроме этого значительной является доля ввозимого текстиля и обуви – 17,1%.

53,5% импорта Забайкальского края в 2010 году – продовольственные и иные сельскохозяйственные товары из стран дальнего зарубежья, аналогично Новосибирской области, ввоз текстиля и обуви из стран дальнего зарубежья является второй по значимости статьей – 28,7% импорта региона.

В импорте Омской области как и у Новосибирской области – преобладают машины и оборудование из стран дальнего зарубежья – 29,3% в 2010 году, также значительную долю составляет продукция химической промышленности из стран дальнего зарубежья – 13%.

Таким образом, структура импорта СФО из Китая, в общем, повторяет общероссийскую – с преобладанием доли машин и оборудования, продукции химической промышленности и текстиля. Структура экспорта отличается от общероссийской и структуры экспорта приграничных регионов в целом: доля топливно-энергетических товаров здесь не столь высока, в то время, как значительной является доля машин и оборудования.

Китай на сегодняшний день одна из немногих стран, показывающих экономический рост, несмотря на постигший мировую экономику кризис. Как следствие, регионы СФО имеют в своем непосредственном соседстве очень выгодного, относительно стабильного и имеющего покупательный спрос партнера. Необходимо использовать это преимущество. Растущей экономике Китая необходимо сырье Сибири. Разумеется, успешная реализация проекта нефтепровода «Восточная Сибирь-Тихий океан» увеличит объем экспорта нефтепродуктов из Сибири в Китай, однако, увеличит и зависимость экономики Сибири от благополучия экономики Китая. Одной из существенных проблем является тот факт, что в Китай экспортируются большие объемы необработанной древесины. Нужды Китая в древесине постоянно растут, однако, отсутствие необходимого оборудования, высокая стоимость заемных денег, и нехватка квалифицированного персонала, способного на равных общаться с китайской стороной среди российских предпринимателей, не позволяют перейти к поставкам обработанной древесины. Здесь необходима существенная поддержка государства в форме: организации лизинга оборудования, кредитования и выступления гарантом в сделках и/или при кредитовании. Эти меры могут стать определяющими и в других перспективных отраслях сотрудничества. Кроме этого, необходима информационная поддержка российских предпринимателей. Дело в том, что статистика регионов Китая, а, соответственно, и потенциальных рынков сбыта для нашей продукции, труднодоступна. Как следствие, предпринимательские риски для российских экспортеров довольно высокие. В качестве одной из форм развития сотрудничества удачно действуют различные ярмарки, проходящие в Китае, однако этого недостаточно. Для развития торгово-экономического сотрудничества, несомненно,



необходимо планомерное развитие информационного пространства, которое, в частности, может быть реализовано посредством сотрудничества на региональном уровне.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Внешняя торговля РФ по данным платежного баланса [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat/rosstatsite/main/trade/>
- 2 ФТС РФ. Внешняя торговля Российской Федерации по основным странам за январь-декабрь 2010 г. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.customs.ru/ru/stats/arhiv-stats-new/>
- 3 Статистика внешней торговли СФО [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.sibfo.ru/economics/foreign-commerce.php?action=art&nart=6567>
- 4 Сибирское таможенное управление. Статистика внешней торговли [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://stu.customs.ru/ru/statistics/>
- 5 Внешнеторговый оборот по странам по Сибирскому федеральному округу в 2010 году [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://stu.customs.ru/ru/statistics/turnover/detail.php?id695=9409&i695=7>
- 6 Внешнеторговый оборот по странам СФО [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://stu.customs.ru/ru/statistics/turnover/>
- 7 Торгово-экономические связи субъектов РФ с Китаем [Электронный ресурс]. -Режим доступа: [http://www.ved.gov.ru/exportcountries/pages/trade\\_links/countries/90](http://www.ved.gov.ru/exportcountries/pages/trade_links/countries/90)
- 8 Торгово-экономическое сотрудничество между Российской Федерацией и Китаем [Электронный ресурс]. -Режим доступа: [http://www.economy.gov.ru/minrec/activity/sections/foreigneconomicactivity/cooperation/economicaa/doc20101221\\_09?presentationtemplate=docHTMLTemplate1&presentationtemplateid=2dd7bc8044687de796f0f7af753c8a7e&WCM\\_Page.ResetAll=TRUE&CACHE=NONE&CONTENTCACHE=NONE&CONNECTORCACHE=NONE](http://www.economy.gov.ru/minrec/activity/sections/foreigneconomicactivity/cooperation/economicaa/doc20101221_09?presentationtemplate=docHTMLTemplate1&presentationtemplateid=2dd7bc8044687de796f0f7af753c8a7e&WCM_Page.ResetAll=TRUE&CACHE=NONE&CONTENTCACHE=NONE&CONNECTORCACHE=NONE)
- 9 20 лет российско-китайского межрегионального и приграничного сотрудничества [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.ifes-ras.ru/component/content/article/21/344-20-let-rossijsko-kitajskogo-mezhregionalnogo-i-prigranichnogo-sotrudniches-tva>

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** региональное сотрудничество, внешняя торговля СФО с Китаем, грузопотоки  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Ревикатова Надежда Юрьевна, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА, СВЯЗАННЫХ С ПЕРЕВОЗКОЙ ПАССАЖИРОВ**

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**В.Н. Шестаков**

### **IMPROVEMENT OF METHODS OF RATING OPERATING OF RAILWAY TRANSPORT COSTS ASSOCIATED WITH THE CARRIAGE OF PASSENGERS**

«Siberian state transport university»

V.N. Shestakov

Structural changes in passenger complex, railway transport require new approaches to assessing the costs associated with the carriage of passengers in the distance and suburban traffic.

*Keywords: economic evaluation, costs, passenger complex, long-distance and commuter*

Структурные изменения пассажирского комплекса железнодорожного транспорта требуют применения новых подходов к оценке расходов, связанных с перевозкой пассажиров в дальнем и пригородном сообщении.

Существенные преобразования в пассажирском комплексе, обусловили необходимость разработки новых подходов к оценке эксплуатационных расходов, связанных с пассажирским движением, что приобретает особое значение в условиях выделения дочерних компаний, осуществляющих перевозки пассажиров в дальнем и пригородном сообщении.

Одним из важнейших направлений повышения эффективности функционирования пассажирского комплекса является рациональное управление транспортными расходами. Особенностью железнодорожного транспорта, по сравнению с автомобильным или воздушным, является наличие мощной инфраструктуры, расходы на содержание которой занимают около половины эксплуатационных расходов компании ОАО «РЖД». Следует отметить, что именно эти затраты в значительной части являются косвенными при отнесении их по видам перевозок, а это существенно увеличивает количество условных распределений при составлении калькуляций и предоставляет исследователям широкое поле для совершенствования этих расчетов [2].

Для оптимизации расходов связанных с перевозкой пассажиров требуются усилия всех

участников перевозочного процесса. Компания ОАО «РЖД» предоставляет услуги инфраструктуры, а также аренды и эксплуатации подвижного состава. В связи с этим совершенствование организации эксплуатационной работы в части пассажирского движения является одним из важнейших направлений сокращения расходов связанных с перевозкой пассажиров. Оценить текущие затраты, связанные с этим, позволяет методика экономической оценки показателей эксплуатационной работы в пассажирском движении.

В основе расчетов экономической оценки лежит Методика расчета единичных и укрупненных расходных ставок в условиях структурной реформы ОАО «РЖД», утвержденная в 2008 г. [1]. Применяемая методика требует постоянного уточнения в связи с ежегодными изменениями в Классификаторе расходов, статистической отчетности дорог, выделением новых структурных подразделений, дочерних обществ и связанных с этим особенностей учета затрат. Необходимо учитывать, что информационное пространство, отражающее основные показатели деятельности железных дорог разделилось на отдельные части. Большая часть объемных и качественных показателей формируется для уровня территориального филиала (полигона), а расходы учитываются по отдельным подразделениям, которые являются балансовыми единицами в системе ЕКАСУФР.

Особенностью расчетов удельных расходов для пассажирского движения является необходимость распределения затрат инфраструктуры по видам сообщения. Расходы, связанные с маневровой работой и содержанием устройств пути, автоматики и телемеханики, энергетики и др. включают затраты и по грузовым и по пассажирским перевозкам. Расходы по таким статьям предварительно должны быть разделены по видам движения. Распределение осуществляется на основании Порядка ведения раздельного учета доходов, расходов и финансовых результатов по видам деятельности, тарифным составляющим и укрупненным видам работ открытого акционерного общества «Российские железные дороги (№311, от 31 декабря 2010 г.). В связи с этим требуется значительный объем информации для распределения затрат.

По действующей методике были проведены расчеты экономической оценки показателей эксплуатационной работы в пассажирском движении (таблица). Единичные расходные ставки по пассажирским перевозкам определялись не только по видам сообщения – пассажирские в дальнем следовании и пригородном сообщении, но и в разрезе функциональных филиалов и дирекций, действующих на полигоне рассматриваемой железной дороги – Дирекции по ремонту пути (ДРП), Дирекции управления движением (ДУД), Дирекции по ремонту тягового подвижного состава (ДРТ) и др. (рисунок). Расходные ставки включают только величину переменных затрат, приходящихся на единицу объема работы (таблица).

*Таблица – Расходные ставки в пассажирском движении (полигон Западно-Сибирская ж.д)*

Наименование	Территориальный филиал	Полигон ЗСЖД
Вагоно-км пассажирских вагонов в дальнем следовании	0,2374	0,2374
Локомотиво-час маневровой работы в дальнем следовании	463,4393	1196,4219
1000 т·км брутто в дальнем следовании (расходы инфраструктуры)	5,3493	9,5713
Отправленный пассажирский вагон	1,9687	1,9687
Вагоно-км пассажирских вагонов в пригородном сообщении	0,2605	0,2605
Локомотиво-час маневровой работы в пригородном сообщении	198,3222	515,8006
1000 т·км брутто в пригородном сообщении (расходы инфраструктуры)	3,6579	6,5868
Час работы локомотивной бригады в дальнем следовании (электротяга)	878,9125	878,9125
Час работы локомотивной бригады в дальнем следовании (теплотяга)	828,9697	828,9697
Час работы локомотивной бригады электросекций	694,7147	694,7147
Цена 1 кВт·ч электроэнергии	1,8362	1,8362
Цена 1 кг условного топлива	12,3950	12,3950

Следует отметить, что полученные результаты отражают только расходы, которые относятся на текущую эксплуатацию, а в связи с образованием ФПК большая часть затрат учитывается теперь по прочим видам деятельности, как оказание услуг клиентам, чего настоящая методика не учитывает. Получение полной величины расходов, связанных с измерителями эксплуатационной работы в пассажирском движении, требует учета дополнительных статей затрат, появившихся при изменении Классификатора расходов и неучтенных применяемой методикой, для чего необходим тщательный анализ отчетности с целью выявления этих статей.



*Рисунок – Структура удельных затрат в разрезе функциональных дирекций: а)-Локомотивочас маневровой работы в пригородном сообщении; б)-1000 т-км в пригородном сообщении (для расходов инфраструктуры)*

По нашему мнению только полная величина расходов, связанных с измерителями эксплуатационной работы в пассажирском движении, позволит объективно оценить в стоимостном выражении изменение качества эксплуатационной работы и потери, вызванные ухудшением показателей использования подвижного состава и наличием отказов, браков в работе, как для полигона территориального филиала, так и отдельных участников перевозочного процесса (функциональных дирекций).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Методика и организация расчета укрупненных и единичных расходных ставок в условиях структурной реформы ОАО «РЖД». -М., 2008. -57 с.
- 2 Расходы инфраструктуры железнодорожного транспорта: учеб. пособие / Н.П. Терешина, Н.Г. Смехова, С.М. Иноземцева, В.А. Токарев. -М., 2010. -224 с.
- 3 Себестоимость железнодорожных перевозок /под ред. Н.Г. Смеховой, А.И. Купорова. -М., 2003. -494 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** экономическая оценка, расходы, пассажирский комплекс, дальнее и пригородное сообщение  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Шестаков Владимир Николаевич, соискатель ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

## **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНВЕСТИЦИЙ В МЕСТА ПЕРЕСЕЧЕНИЙ ЖЕЛЕЗНЫХ И АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

**ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»**

**Н.И. Карпущенко, Т.В. Колмогорова**

**ECONOMIC EFFICIENCY OF INVESTMENT INTO RAILWAY AND HIGHWAY CROSS-OVER POINTS**

«Siberian state transport university»

N.I. Karpushchenko, T.V. Kolmogorova

The article determines the economic efficiency of railway and highway cross-over points following their upgrading and overbridge construction.

*Keywords: economic efficiency, investment, crossing upgrading*

Определена экономическая эффективность пересечений железных и автомобильных дорог после их модернизации и строительства путепровода.

Ежегодно на переездах происходит около 200-250 дорожно-транспортных происшествий, при которых погибают и получают ранения более 300 человек. Несмотря на относительно невысокий их удельный вес в общей структуре аварийности, они отличаются тяжелыми последствиями и, как правило, большим общественным резонансом.

Важное значение имеет экономическая сторона этой проблемы. Повышение пропускной способности переездов, и как следствие, сокращение простоев автотранспорта на участках автомобильных дорог, примыкающих к ним, ведет к улучшению экономических показателей их эксплуатации. Следовательно, можно сформулировать тезис о том, что переезд является местом повышенной опасности или местом повышенного «риска» (риском называется всегда существующая опасность, следствием которой могут быть убытки) на автомобильных дорогах. Поэтому следует находить различные технические решения для того, чтобы водители преодолевали такие участки как можно быстрее и как можно безопаснее [1].

Расчеты эффективности выполняются с учетом разновременности затрат и результатов. Таким образом, решение проблемы заключается в нахождении ответа на вопрос о количественном значении величины чистой приведенной стоимости проекта или эффекта, полученного от внедрения данного мероприятия [2]:

$$\Theta = -K + \sum_{t=1}^{T_{сп}} \Delta C_t \times \beta_t, \quad (1)$$

где  $K$  – капитальные вложения (принимается за единовременные затраты, осуществленные в год начала реализации проекта  $t_0$ );

$T_{сп}$  – срок действия мероприятия, реализованного в проекте, лет.

Чистый доход от реализации проекта

$$\Delta C_i = P - Z, \quad (2)$$

где  $P$  – стоимостная оценка результата, полученного от внедрения данного мероприятия;

$Z$  – стоимостная оценка затрат, необходимых для реализации данного мероприятия, руб. (элемент получил название оттока денежных средств).

Результат внедрения мер, направленных на совершенствование организации и обеспечение безопасности движения транспортных средств при проезде переездов, – это сокращение потерь времени транспортными средствами, а также сокращение материального ущерба от дорожно-транспортных происшествий

$$P = \Delta C_{мп} + \Delta C_{дмп}, \quad (3)$$

где  $\Delta C_{дмп}$  – сокращение материального ущерба от дорожно-транспортных происшествий;

$\Delta C_{мп}$  – сокращение народнохозяйственных потерь, связанных с задержками транспортных средств при пересечении переезда (выигрыш в сокращении потерь времени транспортных средств может быть достигнут за счет уширения проезжей части на переездах, повышения скорости движения автотранспортных средств, а также улучшения дорожных условий).

Можно предположить, что

$$\Delta C_{мп} = C_{мп}^{пр} - C_{мп}^{сущ}, \quad (4)$$

где  $C_{мп}^{пр}$  – народнохозяйственные потери, связанные со временем, затрачиваемым транспортными средствами при пересечении переезда в существующих условиях (до внедрения предложенного мероприятия);

$C_{мп}^{сущ}$  – то же в проектируемых условиях, то есть после внедрения мероприятия.

Логично предположить, что улучшение условий движения через переезд положительно скажется и на снижении уровня аварийности. При определении выигрыша от сокращения количества дорожно-транспортных происшествий следует использовать формулу

$$\Delta C_{дмп} = C_{дмп}^{сущ} - C_{дмп}^{пр}. \quad (5)$$

Потери времени транспортных средств имеют стоимостную оценку

$$C_{мп} = \sum_1^n T_{мп} \times S_{а-ч}, \quad (6)$$

где  $C_{мп}$  – стоимость потерь времени транспортных средств на переезде, руб.;

$T_{мп}$  – суммарные потери времени транспортных средств на данном переезде;

$n$  – число типов транспортных средств в потоке;

$S_{а-ч}$  – средневзвешенное значение стоимости автомобиле-часа, учитывающее состав транспортного потока

$$S_{а-ч} = \frac{d_{эп} S_{эп} + d_{авт} S_{авт} + d_{ла} S_{ла}}{d_{эп} + d_{авт} + d_{ла}}, \quad (7)$$

где  $d_{эп}$  – доля грузовых автомобилей;

$d_{авт}$  – доля автобусов;

$d_{ла}$  – доля легковых автомобилей в транспортном потоке;

$S_{эп}, S_{авт}, S_{ла}$  – значение стоимости одного автомобиле-часа соответственно для грузовых автомобилей, автобусов и легковых автомобилей.

Эти данные можно получить из справочных источников (они могут быть дифференциро-

ваны не только по видам транспортных средств, но и по типам и маркам автомобилей).

Оценивать ущерб от дорожно-транспортных происшествий можно на основе анализа статистической информации об аварийности и средних значений ущерба от дорожно-транспортных происшествий. Тогда значение ущерба от дорожно-транспортных происшествий в существующих условиях определяют по формуле

$$C_{\text{дтп}} = \Pi_{\text{л}} + \Pi_{\text{мр}} + \Pi_{\text{д}} + \Pi_{\text{зр}}, \quad (8)$$

где  $\Pi_{\text{л}}$  – потери, связанные с вовлечением людей в дорожно-транспортное происшествие;

$\Pi_{\text{мр}}, \Pi_{\text{д}}, \Pi_{\text{зр}}$  – соответственно материальный ущерб от повреждения транспортных средств, дорожных сооружений, а также порчи или утраты груза.

Следующий этап – это определение затрат, необходимых для реализации предлагаемых мер.

Затраты, связанные с проектом (3), могут быть капитальными или инвестиционными ( $K$ ), текущими или эксплуатационными ( $C_t$ ).

$$Z = K + C_t. \quad (9)$$

В капитальные входят в основном затраты на приобретение машин, оборудования, зданий и сооружений, их монтаж, отладку и т.п.

Используя изложенную методику определим эффективность инвестиций в модернизацию переезда 3 категории, расположенного на Красноярской железной дороге и имеющего интенсивность движения 1000 автомобилей в сутки. Модернизация заключается в проведении капитального ремонта с укладкой резинокордного настила, стоимостью 410 тыс. руб. и установки ограждения на неохранный переезд с двумя видеокамерами и радиодатчиком общей стоимостью 2590 тыс.руб.

Таким образом, стоимость модернизации неохранный переезда 3 категории составит 3000 тыс. руб.

Оценка стоимости результата, полученного от внедрения данной модернизации, включает сокращение потерь времени на пересечение переезда дорожно-транспортными средствами, а также сокращение ущерба от дорожно-транспортных происшествий.

Стоимость потерь времени транспортными средствами при пересечении их переезда определим по формуле (6). При этом предполагается, что время ожидания разрешающего движения сигнала светофора сократиться на 0,017 ч, а скорость движения через переезд увеличиться на 5 км/ч с 20 до 25 км/ч, что приведет к экономии времени пересечения переезда на 0,005 ч.

Для выполнения необходимых расчетов потребовались следующие исходные данные:

- 1 Интенсивность и структура транспортного потока с разбивкой по группам;
- 2 Протяженность переезда;
- 3 Средняя скорость движения по каждой группе транспортных средств по переезду;
- 4 Средние тарифы на пробег 1 км и тарифы на 1 ч работы транспортных средств (характерных представителей) в районе тяготения рассматриваемого объекта транспортной инфраструктуры;
- 5 Статистические (в том числе расчетно-плановые) данные об аварийности на переездах;
- 6 Средний размер материального ущерба от возникновения дорожно-транспортного происшествия (ДТП).

Источниками исходных данных явились:

- по п. 1-3: проектно-сметная документация (для строящихся дорог и объектов), а также расчетно-плановые показатели;
- по п. 4: данные автотранспортных предприятий из открытых источников информации;
- по п. 5: аналитическая информация ОАО «РЖД» Отдела государственной инспекции безопасности дорожного движения управления внутренних дел по городу Красноярску;
- по п. 6: расчеты среднего значения материального ущерба от ДТП основываются на сведениях Центра юридических услуг «Гарант», размещенных в открытых источниках средств массовой информации.

Средние стоимости использования транспортного средства (ТС) определены в зависимости от пробега и времени работы для каждой группы транспортных средств (таблица 1).

Средневзвешенное значение стоимости автомобиле-часа задержки у светофора в соот-

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

ветствии с формулой (7) с использованием данных таблицы 1 составит 6,56 руб./ч.

Средневзвешенное значение стоимости автомобиле-часа, учитывающего увеличение скорости движения составит 4,73 руб./км.

Таблица 1 – Стоимость эксплуатации транспортных средств

Номер группы ТС	ТС	Масса, т	Число осей	Средняя стоимость, руб./ч	Средняя стоимость, руб./км	Удельный вес транспортного средства
1	Легковой	менее 3,5	2	6,19	3,69	0,67
2	Грузовой	3,5-8,0	не более 3	6,67	5,6	0,23
3	Грузовой	более 8,0	более 3	7,02	7,9	0,08
4	Автобус	более 8,0	2	8,10	9,23	0,02

Сокращение народнохозяйственных потерь, связанных с задержкой транспортных средств у светофора, составит в течение года 576 915 руб.

Сокращение народнохозяйственных потерь, связанных с увеличением скорости проследования машин через переезд на 5 км/ч, составит 207 200 руб.

Выигрыш от сокращения дорожно-транспортных происшествий определим по следующей зависимости

$$\Delta C_{\text{дтп}} = S_{\text{дтп}} P_{\text{дтп}}, \quad (9)$$

где  $S_{\text{дтп}}$  – средневзвешенное значение стоимости потерь от одного ДТП на переезде;

$P_{\text{дтп}}$  – вероятность возникновения одного ДТП на переезде в течение года.

Всего на сети дорог в 2011 году было 11 510 неохраняемых переездов, на которых произошло 250 ДТП. Число неохраняемых переездов 3 категории было 1462.

Логично предположить, что на них произошло 32 ДТП. Вероятность происхождения ДТП на одном переезде 3 категории составит 0,022.

Анализ данных, приведенных в таблице 2 позволяет оценить стоимость потерь от одного ДТП величиной 2136 тыс. руб.

Тогда стоимость потерь от ДТП на одном переезде 3 категории до его модернизации составит 47 тыс. руб.

Таблица 2 – Показатели аварийности на переездах 2008-2010 гг.

Показатели аварийности	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Количество ДТП	226	202	260
Количество пострадавших	198	154	218
Число погибших	70	48	72
Материальный ущерб, млн. руб.	737,8	365	348,7
Материальный ущерб от одного ДТП, тыс. руб.	3265	1807	1338

Таблица 3 – Затраты на текущее содержание переездов (ж/б настил и ограждение) по службе пути Красноярской железной дороги в 2010 году

Наименование статей затрат	Кол-во	Цена, руб.	Охраняемый	Неохраняемый
Основная заработная плата:				
– тарифная ставка дежурного по переездам, чел.	4,5	11 189,00	50 350,50	0,00
– премия, %	30		15 105,15	
– надбавка по Красноярскому краю, %	30		15 105,15	
– районный коэффициент, %	30		15 105,15	
– тарифная ставка на текущем содержании, чел.	0,1	8 237,00	823,70	823,70
– премия, %	30		247,11	247,11
– надбавка по Красноярскому краю, %	30		247,11	247,11
– районный коэффициент, %	30		247,11	247,11
Итого ФОТ			97 230,98	1 565,03
Начисления на заработную плату, %	30,2	97 230,98	29 363,76	472,64
Амортизационные отчисления, руб.			1 320,00	2 420,00
Материалы (1386у), руб.			646,25	2 139,25
Электроэнергия, кВт-ч	420	1,46	613,20	306,60
<b>Итого прямых расходов</b>			<b>129 174,19</b>	<b>6 903,52</b>
Накладные расходы % от прямых	21,9	129 174,19	28 289,15	1 511,87
<b>Итого расходов в месяц, руб.</b>			<b>157 463,34</b>	<b>8 415,39</b>
<b>Итого расходов в год, тыс. руб./переезд</b>			<b>1 889,56</b>	<b>100,98</b>

После модернизации переезда и внедрения заградительного устройства нашей конструкции вероятность возникновения ДТП на таком переезде приближается к нулю. Поэтому

47 000 руб. можно считать выигрышем от сокращения ДТП.

Стоимостная оценка результата от модернизации неохранный переезда составит 831,1 тыс. руб.

*Чистый доход от реализации проекта.* Стоимость затрат на текущее содержание неохранный переезда 101 тыс. руб. (в соответствии с таблицей 3). Доход от реализации проекта составит 730 тыс. руб.

Приведенная стоимость проекта или экономический эффект от модернизации неохранный переезда в соответствии (1) составит

$$\mathcal{E} = -3000 + \sum_{i=1}^t 730 \cdot 0,9818^i .$$

Проект окупится после 5 лет эксплуатации. При  $t=5$  чистый доход составит 455 тыс. руб. и дальше будет нарастать.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Крылов, Ю.С. Техничко-экономическое проектирование пересечения автомобильных дорог с железными дорогами / Ю.С. Крылов, А.В. Спирина // Тр. Союздорнии. -М., 1968. -Вып. 19. -С. 70.

2 Луковецкий, М.А. Срок окупаемости затрат / М.А. Луковецкий, В.А. Поздняков // Путь и путевое хоз-во. -2001. -№2. -С. 30-32.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *экономическая эффективность, инвестиции, модернизация переезда*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Карпущенко Николай Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
Колмогорова Татьяна Валентиновна, преподаватель ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ СУДОХОДНОЙ КОМПАНИЕЙ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного  
транспорта»**

**Е.А. Перфильев**

**IMPROVING THE MANAGEMENT OF SHIPPING COMPANY ON THE MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES BASE  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
E.A. Perfiliev**

Effective management of complex transport processes is impossible without modern information means and technologies. Reviewed preconditions, principles and steps development of an information management system.

*Keywords: information control system, the transport process, organizational and functional model, business process reengineering*

Эффективное управление сложными транспортными процессами невозможно без современных телекоммуникационных средств и информационных технологий. Рассмотрены предпосылки, принципы и этапы проектирования информационной системы управления.

Современная система управления транспортными предприятиями во многом несет на себе черты «советской», которая была практически неизменной в течение 50 лет, что имело как положительную, так и отрицательную стороны. Одним из положительных моментов была комплексность решения всех вопросов в составе единого хозяйственного звена – парходства с входящими в его состав флотом, портами, судоремонтными предприятиями. Недостатки такой системы (чрезмерная централизация, отсутствие действенных материальных стимулов хозяйствования) в особенной мере проявились по мере усложнения хозяйственных задач, в 1960-1980 гг. Требовалось совершенствование системы и методов управления, на флоте появился реальный хозрасчет, стали внедряться коллективные методы труда. В эти же годы началась разработка автоматизированных систем управления (АСУ), однако до эффективного использования АСУ дело не дошло, и одной из причин был отрыв проектирования АСУ от реального транспортного процесса, который зачастую определялся не объективными производственно-экономическими факторами, а политическими и субъективными моментами.

Децентрализация управления транспортом в процессе перехода к рыночным отношениям совпала с резким снижением потребностей в перевозках, породившим целый ряд социально-экономических проблем. Вместе с тем появляется возможность выстраивать четкую экономическую политику и совершенствовать управление предприятием, исходя из реаль-

ных факторов, характеризующих рынок транспортных услуг: конъюнктура рынка, наличие конкурентов, уровень цен, параметры налоговой и тарифной политики государства и т.д. В переходный период не обойтись без изучения опыта развитых стран.

В условиях обострения конкуренции одним из важных средств эффективного производства становится его *специализация*. На зарубежном речном транспорте действуют специализированные фирмы: судоходные, перегрузочные, судоремонтные, снабженческие, логистические и т.д. Другой тенденцией является переход от управления к *менеджменту*: стандартизация управленческой деятельности, опора на типовые технологии, унификация документации. В условиях исчерпания производственных резервов конкуренции эффективная деятельность фирм требует эффективной *логистики*: без развития логистических услуг транспортное предприятие не имеет будущего. Наконец, реальностью стала *компьютеризация* управления, применение автоматизированных технологий.

Таким образом, имеются предпосылки повышения эффективности работы транспортно-го предприятия на принципах специализации производства, стандартизации деятельности, развития логистических услуг, а также повышение качества управления на базе современных информационных технологий.

Систему, реализующую функции управления, называют системой управления. Современный уровень информатизации общества предопределяет использование новейших технических, технологических, программных средств в различных автоматизированных информационных системах (АИС).

Автоматизированная информационная система (АИС) представляет собой совокупность, экономико-математических методов и моделей, технологий и специалистов, предназначенную для обработки информации и принятия управленческих решений [1].

Каноническое проектирование АИС включает в себя следующие стадии и этапы создания системы:

- формирование требований к системе;
- разработка концепции;
- техническое задание;
- технический проект;
- рабочая документация;
- ввод в эксплуатацию и сопровождение.

Богатый и вместе с тем печальный опыт разработки АСУ показывает, что нерешенные вопросы и ошибки, допущенные на этапах анализа и проектирования, порождают на этапах внедрения и эксплуатации трудные, часто неразрешимые проблемы. Современные исследователи приходят к единому мнению, что внедрение корпоративной информационной системы без реструктуризации бизнес-процессов не что иное как «автоматизация хаоса» или как утверждает Г.Н. Калянов «возможность более эффективно делать неправильные вещи» [2].

Таким образом, необходимо совместить два вида проектирования: организационное и техническое, а в результате получить проекты организационной и информационной систем управления предприятием. С этой целью выполняется организационно-функциональный анализ (ОФА), включающий в себя:

- характеристику объекта;
- определение состава и содержания основных функций управления;
- формулирование управленческих задач, вытекающих из взаимосвязи функций и уровней управления;
- формулирование целей управления на конкретно обозначенный период;
- описание возможных средств и способов реализации целей управления;
- предложения об основных направлениях совершенствования организационной и информационной систем.

Объектом предпроектного обследования и ОФА было выбрано судоходное предприятие, созданное в 2006 г. на базе пассажирского флота Енисейского речного пароходства: ОАО «Пассажирречтранс». Это единственное предприятие, осуществляющее пассажирские перевозки внутренним водным транспортом в Енисейском бассейне, его учредителем и 100%-ным владельцем акций является краевая администрация.

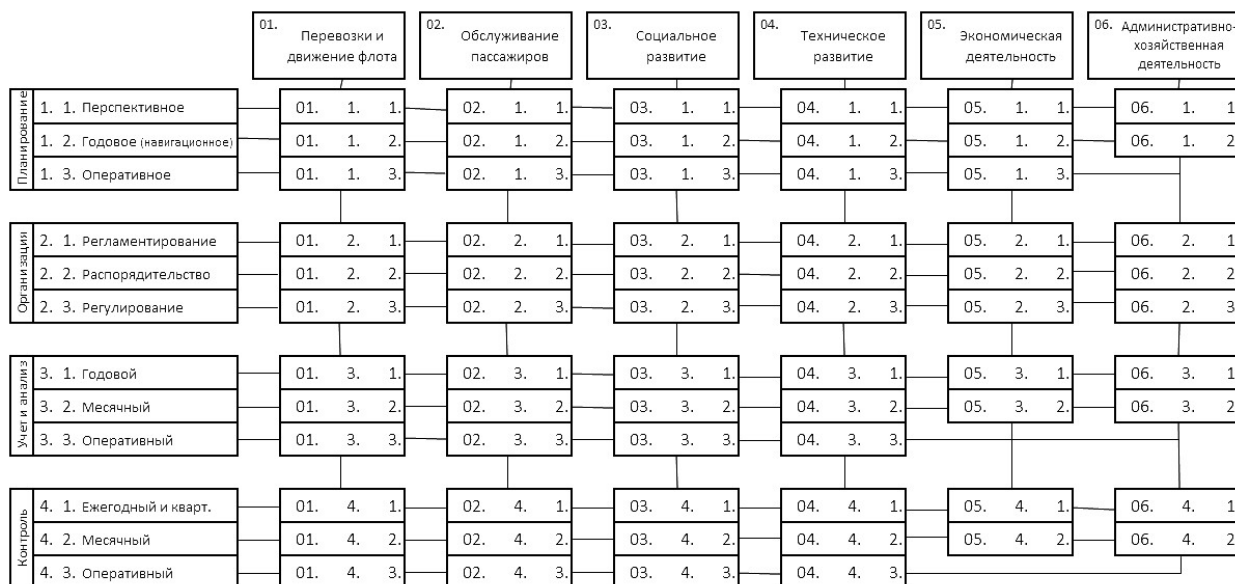
Прежде всего, необходимо выделить основные производственные функции предприятия. У судоходного предприятия, специализирующегося на грузовых перевозках, должна быть одна производственная функция – перевозки грузов, но у пассажирского предприятия



их две:

- перевозка пассажиров;
- обслуживание (оказание сервисных услуг) в пути следования и в береговых пунктах.

Среди общих функций управления четко выделяют следующие функции: планирование, организация, контроль, учет и анализ. Кроме того, принято выделять три уровня управления, качественно различающихся по цели управления, роду решаемых задач, а также срочности: стратегический, административный, оперативный. На основе анализа взаимосвязей уровней и функций управления перевозками сформирована типовая организационно-функциональная схема управления пассажирскими перевозками (рисунок 1).



*Рисунок 1 – Организационно-функциональная схема управления пассажирскими перевозками*

Каждый элемент указанной схемы представляет, с одной стороны, управленческую задачу, с другой — должностную позицию или структурное подразделение, реализующее данную задачу, и обозначается четырехзначным кодом. Например, код 01.1.2. означает «Годовое (навигационное) планирование пассажирских перевозок».

Кроме того, все задачи принято делить в зависимости от информированности о параметрах среды: в условиях определенности, в условиях риска, в условиях неопределенности, а в целях автоматизации задач управления более существенным представляется выделение следующих классов задач [2]:

- информационно-логические;
- аналитические;
- оптимизационные;
- прогностические.

На основании организационно-функциональной схемы формируется перечень функций и задач, включаемых в положения о подразделении предприятия и должностные инструкции сотрудников. Указанные формы позволяют более обоснованно решать вопросы создания и совершенствования организационной структуры управления транспортным предприятием, а также создания АИС.

Основные принципы формирования автоматизированных систем управления, сформулированные в пору их разработки (системности, развития, совместимости, стандартизации, унификации и эффективности [3]), приложимы и при выполнении работ на всех стадиях создания и функционирования АИС, то есть в течение всего их жизненного цикла (ЖЦ).

Существующие модели жизненного цикла определяют порядок исполнения этапов в процессе создания АИС, а также критерии перехода от этапа к этапу. К настоящему времени большое распространение получили три следующие модели: каскадная, спиральная, V-образная.

Каскадная модель ЖЦ предполагает переход на следующий этап после полного завершения работ предыдущего этапа, причем каждый этап завершается выпуском комплекта документации, достаточной для того, чтобы разработка могла быть продолжена другой коман-

дой разработчиков. Однако, в процессе использования этого подхода обнаружился ряд его недостатков, вызванных прежде всего тем, что реальный процесс создания АИС никогда полностью не укладывается такую жесткую схему.

Спиральная модель делает упор на начальные этапы жизненного цикла: анализ требований, предварительное и детальное проектирование. Каждый виток спирали соответствует поэтапной модели создания фрагмента или версии системы, на нем уточняются цели и характеристики проекта, определяется его качество, планируются работы следующего витка спирали. Основная проблема спирального цикла – определение момента перехода на следующий этап. Для ее решения необходимо ввести временные ограничения на каждый из этапов жизненного цикла.

В V-образной модели особое значение придаётся действиям, направленным на верификацию и аттестацию продукта. Однако и она имеет недостатки: с её помощью непросто справиться с параллельными событиями; в модели не предусмотрено внесение требования динамических изменений на разных этапах жизненного цикла; в модель не входят действия, направленные на анализ рисков.

В ответ на ограничивающий характер рассмотренных методов возник метод быстрой разработки приложений RAD (Rapid Application Development, RAD). Наиболее существенные преимущества отображены на рисунке 2.

Выбор приемлемой модели ЖЦ может осуществляться в ходе анализа отличительных черт проекта, разбитых на четыре категории:

- общие требования;
- команда разработчиков;
- коллектив пользователей;
- тип проекта и риски.

По нашей оценке (таблица), наибольшее соответствие критериям данного проекта (14 из 17) автоматизированной информационной системы для судоходной компании показывает модель быстрой разработки приложений RAD.

*Таблица – Итоговый выбор модели ЖЦ*

Соответствие характеристикам	Каскадная	V-образная	Спиральная	RAD
Требований	3 из 5	3 из 5	2 из 5	3 из 5
Команды разработчиков	3 из 4	2 из 4	1 из 4	3 из 4
Коллектива пользователей	2 из 3	2 из 3	2 из 3	3 из 3
Типа проекта и рисков	4 из 5	2 из 5	1 из 5	5 из 5
Итоговое количество	12 из 17	9 из 17	6 из 17	14 из 17

Согласно методологии RAD в ходе фазы анализа и планирования требований производится сбор материалов для проектирования – формирование требований, изучение объекта проектирования разработка, анализ этих данных и выбор варианта концепции системы. Как элемент предпроектного обследования может использоваться ОФА.

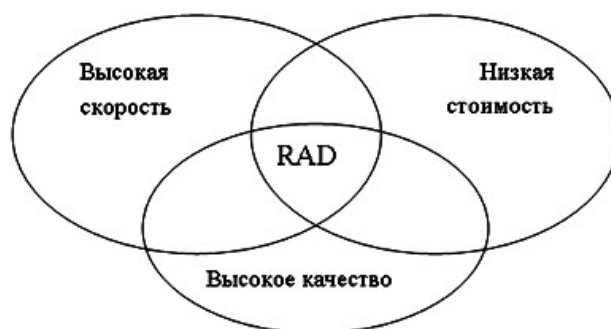
На фазе проектирования существенный эффект дают современные CASE-средства, автоматизирующие ту или иную совокупность процессов жизненного цикла АИС и обладающее следующими основными характеристиками и особенностями [3]:

- мощные графические средства для описания и документирования ИС;
- интеграция отдельных компонент CASE-средств, обеспечивающая управляемость процессом разработки ИС.

Результатом данной фазы является общая информационная модель системы и функциональные модели подсистем.

Фаза внедрения подразумевает обучение пользователей, организационные изменения и, параллельно с внедрением новой системы, осуществляется работа с существующей системой (при ее наличии).

Проектирование АИС специализированной пассажирской компании должно быть неотделимо от разработки вопросов по расширению сферы и повышению качества логистических



*Рисунок 2 – Концепция RAD*

услуг (в том числе – услуг пассажирского сервиса в деятельности судоходной компании) в соответствии должно сочетаться с общемировыми тенденциями: качество (как способность удовлетворить требования и ожидания заказчиков) обеспечивается через качество системы управления предприятием. Важнейшей задачей совершенствования управления пассажирскими перевозками становится разработка типовых технологических процессов и стандартов пассажирского обслуживания, обеспечивающих необходимый уровень (качество) сервиса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Титоренко, Г.А. Автоматизированные информационные технологии в экономике: учебник / Г.А. Титоренко. -М.: ЮНИТИ, 2000. -400 с.
- 2 Калянов, Г.Н. Моделирование, анализ, реорганизация и автоматизация бизнес-процессов / Г.Н. Калянов. -М.: Финансы и статистика, 2007. -239 с.
- 3 Прокофьев, В.А. Информационные технологии на транспорте: учеб. пособие / В.А. Прокофьев. -СПб.: ГМА им. адм. С.О. Макарова, 2006. -127 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *информационная система управления, транспортный процесс, организационно-функциональная модель, реорганизация бизнес-процессов*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Перфильев Евгений Аркадьевич, соискатель ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## **ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО РЕМОНТУ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С УЧЕТОМ РИСКОВ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ**

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»  
ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского»

**В.А. Смирнов, В.Ф. Кузнецов, А.М. Семенов**

### **SELECTION OF CAR-REPAIR ENTERPRISES TECHNIQUE MEASURES WITH AN ALLOWANCE FOR RISKS OF TRAFFIC SAFETY**

«Omsk state transport university»  
«Omsk state university named F.M. Dostoevsky»  
V.A. Smirnov, V.F. Kuznetsov, A.M. Semenov

The issues of optimization of rolling stock repairing technological processes are considered. The method for selection of technique measures subject to risks of traffic safety is offered.

*Keywords: rolling stock repair, optimization of technological processes, risks of traffic safety*

Рассматриваются вопросы оптимизации технологических процессов ремонта подвижного состава железнодорожного транспорта, предлагается методика выбора показателей технологического оснащения с учетом рисков безопасности движения.

Целевая модель реформирования локомотивного и вагонного хозяйства ОАО «РЖД» предполагает формирование системы, включающей Дирекцию тяги, Дирекцию по ремонту тягового подвижного состава, заводы, сервисные структуры по техническому обслуживанию и ремонту локомотивов, вагонные пассажирские депо в составе Федеральной пассажирской компании, Дирекцию мотор-вагонного подвижного состава с ремонтно-сервисной базой электропоездов, эксплуатационные вагонные предприятия, взаимодействующие на рыночных принципах с региональными компаниями по ремонту грузовых вагонов [1].

В числе приоритетных направлений реформирования ремонтного комплекса ОАО «РЖД» на период до 2015 года необходимо отметить: совершенствование технологий ремонта и системы управления производством, снижение рисков чрезвычайных ситуаций, повышение надежности работы и увеличение эксплуатационного ресурса подвижного состава на основе формирования системы эксплуатационных показателей надежности и безопасности с учетом оценки рисков.

Общей тенденцией структурного реформирования ремонтного комплекса компании является выделение функций технического сервиса и ремонта подвижного состава в самостоятельный конкурентный вид бизнеса (ремонт грузовых вагонов) или обособленный внутренний бизнес-процесс ОАО «РЖД» с четкими индикаторами экономической эффективности в рамках финансово-хозяйственной деятельности холдинга (ремонт локомотивов и пасса-

жирских вагонов).

Интересы заказчиков и поставщиков услуг в условиях рынка имеют противоположный характер, что требует создания корпоративной системы взаимодействия ремонтных, эксплуатационных предприятий, операторов и собственников парка подвижного состава на основе финансовых механизмов и экономических показателей. Создание такой системы обуславливает необходимость планирования текущей деятельности и развития ремонтных предприятий с учетом дополнительных условий и ограничений контрактного обеспечения финансовых рисков надежности подвижного состава и безопасности движения.

В современных условиях можно выделить следующие задачи технологического развития предприятий по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава железнодорожного транспорта:

- снижение себестоимости ремонта и технического обслуживания;
- обеспечение гарантированной безопасности движения;
- соблюдение установленных в контрактах требований собственников подвижного состава по надежности в эксплуатации.

Состояние технологической системы предприятия в общем случае задается  $n$ -мерным вектором, так называемых единичных показателей организационно-технического уровня, рассчитываемых по данным бухгалтерского и управленческого учета на конкретную дату экономическими и техническими службами предприятия.

Традиционная номенклатура единичных показателей организационно-технического уровня ремонтных предприятий локомотивного и вагонного хозяйства включает в себя: фондовооруженность, характеризующей степень оснащенности труда производственными основными фондами, электровооруженность, уровень механизации и автоматизации производства, уровень технологии, площадь производственных цехов и участков на одну единицу отремонтированного подвижного состава, средний возраст машин и оборудования, доля ручного труда в основном и вспомогательном производстве, производительность труда одного работника и другие [2, 3].

Сравнение конкурентных позиций предприятия на региональном рынке ремонта подвижного состава, принятие решения о необходимости модернизации и реконструкции производства выполняется на основании интегральной оценки, которая может быть получена путем суммирования относительных единичных показателей организационно-технического уровня с учетом коэффициентов весомости по формуле

$$TY = \sum_{i=1}^n \varphi_i g_i, \quad (1)$$

где  $\varphi_i$  – коэффициент весомости  $i$ -го единичного показателя;

$\mu_i$  – абсолютный вес  $i$ -го единичного показателя;

$g_i$  – относительный единичный показатель технического уровня для рассматриваемой технологической системы относительно базовой

$$\varphi_i = \mu_i / \sum_{i=1}^n \mu_i; \quad \mu_i = i/2^{i-1}; \quad g_i = f_i/f_{ni}.$$

Условно принято считать, что значение интегрального показателя в диапазоне от 0,8 до 1,0 соответствует нормальному техническому уровню, от 0,6 до 0,8 – требуется модернизация, а менее 0,6 реконструкция производства [3]. Последующий анализ целесообразности конкретных инвестиционных вложений выполняется по классическим методикам с расчетом простого и дисконтированного срока окупаемости, чистого дисконтированного дохода, точки безубыточности и других показателей финансово-экономической эффективности.

Недостатком данного подхода при принятии решения о необходимости модернизации и реконструкции депо является отсутствие непосредственной взаимосвязи критериев оценки с результатами хозяйственной деятельности ремонтного предприятия в рыночных условиях с учетом финансовых рисков нарушений требований функциональной надежности и безопасности подвижного состава. Последствия рисков безопасности движения – претензии и штрафы со стороны владельцев, операторов подвижного состава и других участников перевозочного процесса в адрес ремонтного предприятия при возникновении неисправностей локомотивов и вагонов в гарантийный послеремонтный период.

Зарубежная контрактная практика взаимодействия ремонтных и сервисных предприятий с собственниками подвижного состава предусматривает штрафы по специальной бальной

шкале, размер которых оговаривается контрактом. Например, неисправности, вызвавшие простой на 3 минуты и более, общие дефекты, и степень очистки подвижного состава в процентах. Общие дефекты включают в себя технические дефекты и дефекты, влияющие на комфорт пассажиров (нормальная работа кондиционеров, освещения и т.д.). Особо учитываются существенные случаи нарушения графика и безопасности движения - прибытие поезда в конечный пункт следования с опозданием более чем на 10 минут, отмена поезда, экономический ущерб компании владельцу подвижного состава, ущерб жизни и здоровью людей по причине некачественного ремонта [4].

Система управления рисками безопасности движения ОАО «РЖД» предусматривает их количественную оценку на основе параметров последствий и вероятности возникновения рисков ситуаций. Классификация рисков выполняется по их потенциальному ущербу (тяжести последствий). Характеристика тяжести последствий оценивается по четырем группам: безопасности движения, экономическому ущербу, безопасности жизнедеятельности и эффективности процесса. Оценка величины риска является производением оценки вероятности рисков события и его ущерба [5].

Обеспечение стабильной работы ремонтных предприятий в условиях жестких контрактных ограничений требует создания соответствующих механизмов страхования рисков. Одним из ключевых вопросов при этом является научно-обоснованный выбор минимального размера страхового фонда и страховой надбавки с учетом совокупности факторов технического уровня предприятия, рыночной конъюнктуры, параметров надежности подвижного состава и потенциального ущерба для различных групп оборудования.

Опыт авторов в области разработки и обоснования инвестиционных проектов модернизации и реконструкции предприятий локомотивного и вагонного хозяйства, позволяет сформулировать следующие требования к системе показателей организационно-технического уровня ремонтного производства для задач страхования рисков:

- минимально-возможная номенклатура показателей;
- доступность количественного измерения, нормирования и оценки;
- экономическая природа показателей;
- взаимосвязь с внешними рыночными факторами и результатами финансово-хозяйственной деятельности предприятия;
- чувствительность к возможным управляющим воздействиям на производственный комплекс при его модернизации и реконструкции.

Установление причинно-следственных связей показателей технического уровня ремонтного производства и рисков безопасности движения с целью выбора минимально достаточного состава показателей осуществляется методами графов и нейросетевого анализа с построением соответствующих математических моделей, учитывающих параметры технологической системы предприятия, конъюнктуру рынка, экологические, политические, социальные и внешнеэкономические факторы для конкретного региона размещения предприятия. Подробное рассмотрение обозначенных вопросов является предметом отдельного исследования.

В качестве одного из возможных вариантов решения можно предложить оценку состояния технологической системы производства по показателям технического уровня производства – практической производственной мощности, фондовооруженности труда, и суммарной тяжести ущерба нарушения безопасности движения по причине неудовлетворительного качества ремонта подвижного состава.

Под практической производственной мощностью предприятия понимается программа ремонта, которая может быть реализована в расчетный период с учетом ограничений состояния производственных фондов, износа оборудования, обеспеченности кадровыми, энергетическими и материальными ресурсами, а также привлекательности размещения заказов на ремонт подвижного состава на данном предприятии со стороны владельцев.

Фондовооруженность труда – стоимость активной части производственных фондов с учетом амортизации, приходящаяся на одного работника основного производства. Характеризует совокупность факторов производительности труда, уровня механизации и автоматизации производства, средний возраст машин и оборудования.

Значение показателя фондовооруженности для заданной практической производственной мощности предприятия характеризует уровень технологии выполнения ремонта подвижного состава и как следствие показатели качества ремонта и надежности эксплуатации в гарантийный период (вероятность наступления события отказа технических средств или

случая нарушения безопасности движения).

Суммарная тяжесть ущерба от компенсационных выплат в гарантийный послеремонтный период зависит от среднего размера единичного случая ущерба, программы ремонта, срока гарантии, вероятности наступления события и оценивается статистическими методами по одной из следующих формул, использующих:

– показатель безотказной работы подвижного состава  $K^E(t)$

$$y(t) = C \cdot N_{\text{рем}}(t) \cdot \left(1 - \frac{K^E(t)}{100\%}\right), \quad (2)$$

где  $C$  – средний размер ущерба нарушения безопасности движения, связанный с техническими неисправностями подвижного состава (определяется по данным предыдущего периода);

$N_{\text{рем}}(t)$  – число единиц подвижного состава, находящихся в гарантийной эксплуатации, после плановых видов ремонта за время  $t$ ;

– параметр потока отказов  $w^E(t)$  (коэффициент качества ремонта)

$$y(t) = C \cdot N_{\text{рем}}(t) \cdot w^E(t); \quad (3)$$

– среднюю наработку на отказ  $T^E(t)$

$$y(t) = C \cdot \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{рем}}} I_{\text{пр},i}}{T^E(t)}, \quad (4)$$

где  $I_{\text{пр}}$  – суммарный пробег подвижного состава, находящегося в гарантийной эксплуатации после ремонта, за время от 0 до  $t$ , тыс. км.

Область возможных состояний технологической системы предприятия может быть представлена в виде прямоугольной матрицы, ячейки которой характеризуют возможные дискретные сочетания показателей технического уровня и рисков безопасности движения. Разделение непрерывного пространства значений на фиксированные подмножества осуществляется на основании анализа статистических данных о работе предприятия и необходимой точности детализации результатов, определяемой целями моделирования.

Строки матрицы соответствуют дискретному шагу практической производственной мощности (например, для вагонного ремонтного депо могут быть приняты значения от 1500 до 7500 деповских ремонтов в год с шагом 500 единиц), столбцы – фондовооруженности труда, тыс. руб./чел., а содержание ячеек средней тяжести общего ущерба от событий нарушения безопасности движения при данных показателях технического уровня производства в год (рисунок).

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	...	$f_m$
$p_1$	$y_{11}$	$y_{12}$	$y_{13}$	...	$y_{1m}$
$p_2$	$y_{21}$	$y_{22}$	$y_{23}$	...	$y_{2m}$
$p_3$	$y_{31}$	$y_{32}$	$y_{33}$	...	$y_{3m}$
...	...	...	...	...	...
$p_n$	$y_{n1}$	$y_{n2}$	$y_{n3}$	...	$y_{nm}$

Рисунок – Матрица состояний технологической системы предприятия

Переход технологической системы из одного состояния в другое (например, в обладающее более высокими показателями качества ремонта и надежности подвижного состава в эксплуатации, с целью снижения штрафов и контрактных выплат) требует инвестиционных вложений, размер которых зависит от показателей технического уровня начальной и конечной точки развития производства  $C(y_{ij}, y_{kl})$ .

Рассмотрим условия принятия решения о целесообразности перехода из одной области параметров технологической системы в другую с учетом рисков безопасности движения с заданной вероятностью не разорения предприятия. Модель принятия решения может быть описана на основе модели краткосрочного страхования рисков [6]. Под страхованием рисков условимся считать создание специального резервного финансового фонда (страхового фонда), обеспечивающего покрытие ущерба по массовым техническим неисправностям, связанным с нарушениями графика движения поездов, постановкой подвижного состава на внеплановый ремонт, восстановлением работоспособного и исправного состояния.

События нарушения безопасности движения, связанные с крушениями, крупными авариями, нанесением непоправимого ущерба жизнью и здоровью людей, масштабным эколо-

гическим ущербом и ряд других, в виду их единичного характера и значительного размера ущерба, требуют использования иных подходов к хеджированию рисков, реализуемых в рамках железнодорожной транспортной системы в целом с долевым участием государства, пользователей услуг (пассажиров и грузовладельцев), операторов и других участников перевозочного процесса.

Для определения размера годового страхового фонда  $S$ , зададим вероятность  $\alpha$  покрытия страховым фондом общего годового ущерба. В практике страхования промышленного сектора экономики обычно принимается  $\alpha = 0,9$  или  $\alpha = 0,95$ .

Для расчета суммарного ущерба от страховых случаев нарушения безопасности движения воспользуемся коэффициентом качества ремонта подвижного состава  $w^E(t)$ . Пусть  $p = w^E(1)$ , обратная величина  $q = p - 1$ . Рассмотрим случайные величины  $\xi_k$ ,  $k = 1, \dots, N_{рем}$  возможного ущерба, связанного с техническими неисправностями  $k$ -ой единицы ремонта в течение года. Каждая из данных величин принимает значение  $C$  с вероятностью  $p$  и  $0$  с вероятностью  $q$ , имеет математическое ожидание  $m_k = Cp$  и дисперсию  $\sigma^2 = C^2 pq$ .

В предположении независимости случайных величин  $\xi_k$ , суммарный годовой ущерб  $Y = \sum_{k=1}^{N_{рем}} \xi_k$  имеет математическое ожидание  $m = CN_{рем} p$  и дисперсию  $\sigma^2 = C^2 N_{рем} pq$ . Минимальное возможное значение размера  $S$  годового страхового фонда равно  $m$ .

Рассмотрим гауссовское приближение для центрированной и нормированной величины суммарного годового ущерба. Вероятность покрытия страховым фондом общего годового ущерба можно представить в виде

$$P(Y \leq S) = P\left(\frac{Y - m}{\sigma} \leq \frac{S - m}{\sigma}\right) \approx \Phi\left(\frac{S - m}{\sigma}\right), \quad (5)$$

где 
$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt.$$

Если наступило событие  $Y > S$ , то это означает, что страховой фонд не покрыл общий годовой ущерб. Размер страхового фонда  $S$  можно определить по вероятности  $\alpha = P(Y \leq S)$ . По заданной вероятности  $\alpha$  определим квантиль  $x_\alpha$ , как решение уравнения  $\Phi(x) = \alpha$ . Например, при изменении вероятности  $\alpha$  от  $0,9$  до  $0,999$  квантиль  $x_\alpha$  принимает значения от  $1,282$  до  $3,09$ . Вероятность

$$P\left(\frac{Y - m}{\sigma} \leq x_\alpha\right) = P(Y \leq m + x_\alpha \sigma) = \alpha. \quad (6)$$

Откуда 
$$S = m + x_\alpha \sigma.$$

Таким образом, размер годового страхового фонда в зависимости состояния технологической системы предприятия можно представить в виде

$$S_{ij} = C \left\{ N_{рем} w_{ij}^E(1) + x_\alpha \sqrt{N_{рем} w_{ij}^E(1) [1 - w_{ij}^E(1)]} \right\}. \quad (7)$$

Условие принятия решения о целесообразности инвестиционных вложений для перехода из одной области параметров технологической системы в другую, с учетом рисков безопасности движения, можно записать в виде неравенства

$$C(y_{ij}, y_{kl}) < T_{ам} (S_{ij} - S_{kl}), \quad (8)$$

где  $T_{ам}$  – срок амортизации оборудования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Реформе нужен ремонт // РЖД-Партнер. -2009. -№24. -С. 28-31.
- 2 Ковалев, В.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия / В.В. Ковалев, О.Н. Волкова. -М.: Велби, 2002. -424 с.
- 3 Болотин, М.М. Системы автоматизации производства и ремонта вагонов: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / М.М. Болотин, В.Е. Новиков. -М.: Маршрут, 2004. -310 с.
- 4 Организация текущего ремонта подвижного состава на железных дорогах Великобритании // Железнодорожный транспорт за рубежом: локомотивное и вагонное хозяйство. Подвижной состав / ЦНИИТЭИ. -2001. -Вып. 3/4.
- 5 СТО РЖД 02.038-2011. Риск-менеджмент в организации обеспечения безопасности движения: утв. и введ. в действие распоряжением ОАО «РЖД» от 21.09.2011 г. №2068р. -М.: РЖД, 2011. -32 с.
- 6 Фалин, Г.И. Математический анализ рисков в страховании / Г.И. Фалин. -М.: Рос. юрид. издат. дом, 2004. -130 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *ремонт подвижного состава, оптимизация технологических процессов, риски безопасности движения*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Смирнов Виктор Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*

Кузнецов Виктор Федорович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»  
Семенов Александр Михайлович, канд. физ.-мат. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУ им.  
Ф.М. Достоевского»  
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»  
644077, г. Омск, пр. Мира, 55а, ФГБОУ ВПО «ОмГУ им. Ф.М. Достоевского»

## **ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТАВКИ НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного  
транспорта»

**И.В. Горегляд, С.Н. Масленников**

**BASIC PRINCIPLES OF CREATION OF THE LOGISTIC CHAIN OF DELIVERY OF NONMETALLIC CONSTRUCTION MATERIALS  
«Novosibirsk state academy of water transport»**

I.V. Goregljad, S.N. Maslennikov

Considered one of the most important segments of the inland waterway transport – production of non-metallic building materials. Feature article is to find the parameters of the transport company, on which the study of organizational and economic solutions. Justified by the basic principles of conceptual organization of the delivery of non-metallic building materials that meet the modern approaches to the construction of logistics chains.

*Keywords: water transport, nonmetallic materials, logistics*

Рассмотрен один из наиболее значимых сегментов деятельности внутреннего водного транспорта – добыча нерудных строительных материалов. Особенностью статьи является поиск параметров деятельности транспортного предприятия, по которым производится обоснование организационно-экономических решений. Обоснованы основные концептуальные принципы организации поставки нерудных строительных материалов, отвечающие современным подходам к построению логистических цепей.

Добыча и перевозка нерудных строительных материалов (НСМ) занимает важное место в производственно-финансовой деятельности практически всех предприятий, особенно предприятий строительной сферы производства.

В настоящее время речной транспорт пока сохраняет ведущие позиции в стране по добыче и поставке НСМ с точки зрения современных требований транспортной логистики.

Однако речной транспорт, к сожалению, практически полностью монополизирован. Это негативно сказывается на рынке нерудных строительных материалов, так как сегодня лидерами становятся те компании, которые предлагают не только широкий ассортимент перечисленных товаров, но и качественный сервис. Поэтому деятельность речного транспорта требует жестких ограничений и должна находиться под более пристальным контролем государства.

Но, несмотря на важнейшее значение промышленности по добыче и перевозке НСМ в строительной индустрии, она находится в трудном положении, поскольку ее основные фонды изношены более чем на 85%.

Поставка НСМ в настоящее время является одним из главных видов работы и основной статьей доходов речных портов. Около 60% всего объема перевозок речного транспорта России составляют НСМ, которые добывают из обводненных и сухопутных карьеров. К нерудным материалам относят песок, щебень, мрамор, гранит, известняк и другие минералы. В структуре грузовых работ многих речных портов на добычу и доставку одного из видов НСМ – речного песка – приходится от 70 до 90% и более.

Важным, при формировании планов производства и поставок нерудных строительных материалов является учёт сезонные колебания спроса, схемы транспортировки продукции потребителям и изменчивость природных, технических и экономических факторов внутренней и внешней среды.

Так как сегодня рынок предъявляет предприятиям значительные требования, то надо все быстрее модернизировать продукцию, лучше владеть ценами, учитывать расходы, анализировать эффективность отдельных поставок. Это позволит предприятию оперативно реагировать на требования рынка, то есть рассматривать затраты не только по всей логистической цепи в отдельности, в которую включены предприятия различных форм собственности и различных сфер деятельности, но и в совокупности рассматривая общую картину



происходящего. Это позволит повысить эффективность, чтобы требования рынка выполнялись с предельно низкими издержками, что поможет предприятию выдержать серьёзную конкуренцию. Для решения этой задачи невозможно рассматривать логистическую цепь только с экономической или только с технической стороны. Для минимизации затрат и суммарных издержек требуется находить оптимальные экономические, технические и технологические решения. Это достигается решением задач динамическим набором вариантов с конкретными техническими средствами, то есть конкретные особенности технического средства и конкретная стоимость.

В соответствии с концепцией логистики, построение внутрипроизводственных логистических систем должно обеспечивать возможность постоянного согласования и взаимной корректировки планов и действий снабженческих, производственных и сбытовых звеньев внутри предприятия (таблица).

*Таблица – Основные концепции поставки НСМ*

Традиционная концепция организации поставки НСМ	Логистическая концепция поставки НСМ
<ul style="list-style-type: none"> <li>– иметь максимально большой запас НСМ и материальных ресурсов «на всякий случай»;</li> <li>– никогда не останавливать основное оборудование и поддерживать во что бы то ни стало высокий коэффициент его использования</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– отказ от добычи объемов, на которые нет заказов и избыточных запасов ресурсов;</li> <li>– пересмотр нормативов времени на выполнение основных и транспортно-складских операций;</li> <li>– устранение простоев оборудования;</li> <li>– обязательное устранение претензий клиентов;</li> <li>– превращение поставщиков и клиентов в доброжелательных партнеров</li> </ul>

Содержание концептуальных положений свидетельствует о том, что традиционная концепция организации поставки НСМ наиболее приемлема для условий «рынка продавца», в то время как логистическая концепция – для условий «рынка покупателя». Когда спрос превышает предложение можно полагать, что изготовленная с учетом конъюнктуры рынка весь объем произведенных НСМ будет реализован. Причем, чем крупнее объем поставки НСМ, тем ниже окажется себестоимость единицы продукции. Задача реализации на первом плане не стоит, поэтому приоритет получает цель максимальной загрузки оборудования. Ситуация меняется с приходом на рынок «диктата» покупателя. Задача реализации производственного продукта в условиях конкуренции выходит на первое место. Непостоянство и непредсказуемость рыночного спроса делает нецелесообразным создание и содержание больших запасов. В то же время поставщик НСМ уже не имеет права упустить ни одного заказа. Отсюда необходимость в гибкой организации технологического процесса поставки НСМ способной быстро отреагировать производством на возникший спрос. Снижение себестоимости в условиях конкуренции достигается не экстенсивными мерами, а логистической организацией отдельного производства и всей товаропроводящей системы в целом.

Так как процесс подбора оптимального варианта является довольно сложным и трудоёмким, то определенный рост эффективности работы по доставке товара потребителю можно достичь с помощью вычислительных машин, но прозрачность и гибкость значительно повышаются лишь в результате применения интегрированных информационных и управленческих систем.

Информация в данном случае становится логистическим производственным фактором, благодаря ей может сократиться время складирования, а именно лучшее управление запасами, согласованность действий поставщика и потребителя. Благодаря информации удается также ускорить транспортировку путем согласованности всех звеньев транспортной системы. Что позволяет найти наиболее оптимальное значение рассматриваемого показателя и оптимальной схемы доставки.

В условиях постоянно изменяющихся производственных и экономических параметров деятельности транспортного предприятия поиск оптимальных решений является довольно актуальным, и изложенные принципы, обеспечивают определение наиболее верного решения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** водный транспорт, нерудные материалы, логистика  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Горегляд Ирина Валерьевна, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Масленников Сергей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, проректор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## **ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ВОСПРОИЗВОДСТВУ АКТИВНОЙ ЧАСТИ ОСНОВНЫХ ФОНДОВ НА НАУКОЕМКОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

Красноярский институт водного транспорта, филиал ФБОУ ВПО  
«Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**Д.В. Еремеев, М.Ю. Лукичев**

**THE MAIN APPROACHES TO THE REPRODUCTION OF THE ACTIVE PART OF FIXED ASSETS IN THE KNOWLEDGE-INTENSIVE ENTERPRISE**

«Krasnoyarsk institute of a water transport, branch Novosibirsk state academy of water transport»

D.V. Eremeev, M.Yu. Lukichev

The article discusses the relationship of innovation development process of renovation of fixed assets of high-tech enterprise. As well as the direction of planning and forecasting, algorithm building a portfolio of alternatives for the reproduction process of the active part of fixed assets in the knowledge-intensive enterprise.

*Keywords: upgrading, modernization, technical re-equipment, high technology company, fixed assets*

Рассматривается взаимосвязь инновационного развития с процессом обновления основных фондов наукоемкого предприятия. А также направление планирования и прогнозирования, алгоритм формирования портфеля альтернатив для процесса воспроизводства активной части основных фондов на наукоемком предприятии.

В настоящее время российская экономика переживает последствия мирового финансово-экономического кризиса. Промышленность, как и финансовый сектор, перенесла фундаментальные потрясения, негативно отразившиеся на темпах технологического развития и уровне рентабельности отечественных предприятий. Вместе с тем, негативные последствия кризиса имели определенный положительный эффект. Руководство предприятий осознало необходимость инновационного развития управляемых ими промышленных систем. Значительно возросший с наступлением кризисных явлений уровень конкурентной борьбы показал значительное превосходство именно инновационной продукции и услуг, как наиболее перспективных объектов с точки зрения подавляющего большинства потребителей. Недостаточный уровень информационного и технологического развития отечественных предприятий, а так же высокий износ технологического оборудования предопределили резкий спад в динамике промышленного развития, результатом которого стало банкротство предприятий, значительный рост сокращений персонала, отсутствие путей развития при формировании антикризисной стратегии. В связи с этим на повестку дня стала проблема модернизации, как производственно-технической базы промышленных организаций, так и технологий производства.

Наукоемкие предприятия (НП) занимают одно из ключевых мест в государственной инновационной политике России, так как в силу своей специфики отрасли удалось сохранить и приумножить научно-технические разработки, имеющиеся мощности, которые поддерживают внутреннюю организацию и сложившиеся тенденции ее развития. Данной отрасли удалось сохранить научную и производственную инфраструктуру, поддержать на определенном уровне производство техники и технологии за счет частичной коммерциализации своей деятельности, использования внутренних резервов, высокой долей привлеченных иностранных заказов, а также рационального использования выделяемых государством средств.

Повышение эффективности управления инновационно-инвестиционной деятельности наукоемкого предприятия на современном этапе развития, в условиях неопределенности и риска, не только дает ее шансы на превосходство перед конкурентами, но и позволяет существенным образом улучшить производственную, финансовую, научно-исследовательскую и другие подсистемы. При этом предприятия получают возможность формирования инновационно-инвестиционной стратегии и становятся флагманом инновационного развития страны.

Высокий рост научно-технического прогресса стремление производителей к повышению эффективности управляемых ими производственных систем, требуют от производителей и ученых разработки инновационно-инвестиционной стратегии развития наукоемкого предприятия на основе имеющегося опыта и знаний в области инноватики комплекса фундаментальных и прикладных наук теории и методологии развития сложных технологических систем.

Одной из важнейших задач при управлении инновационно-инвестиционным развитием НП является разработка процесса улучшения активной части основных фондов. Вопросы оценки и улучшения состояния активной части основных фондов (ОФ) предприятия зависят от ряда условий, которые сложились на практике. С авторской точки зрения существенное влияние на выбор стратегии воспроизводства основных фондов оказывают типы инновации, как на направление, так и на способы. Типы инноваций определяет типы процессов.

Авторами на основе анализа литературных источников [1-4] была сделана попытка построения соотношения типа инноваций (основных) и типа процессов воспроизводства активной части основных средств. Полученные результаты представлены в таблице. В представленной таблице «-» означает отсутствие связи, а «+» то что связь имеется, хотя и не показана сила взаимосвязей.

*Таблица – Матрица взаимосвязей между типом инновации и типом процессов*

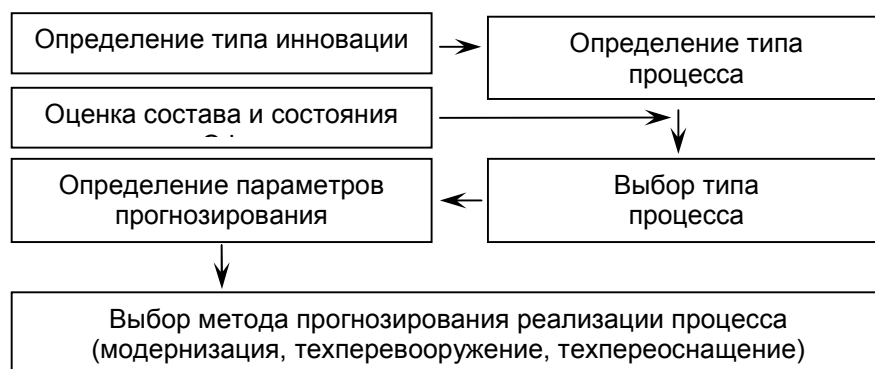
Классификационный признак	Тип инноваций  Сущность инноваций	Тип процесса		
		Модернизация	Техническое переснащение	Техническое перевооружение
По степени инновационного потенциала	подрывные (реальные)	-	-	+
	интегрированные (комплексные)	-	+	+
	поддерживающие (прогрессивные)	+	+	-
По степени использования научных знаний	фундаментальные	-	-	-
	прикладные	+	+	
	комбинации фундаментальных и прикладных	-	+	+
	побочные результаты больших программ	-	-	-
По срокам выполнения	20 и более лет	-	-	-
	15-20 лет	-	-	-
	5-10 лет	-	-	-
По способу внедрения	экспериментальные	-	-	+
	прикладные	+	+	
По причинам возникновения	реактивные	-	-	+
	стратегические	-	-	+
По степени новизны	инновации на основе нового научного открытия	-	-	+
	инновации на основе нового способа применения к давно открытым явлениям	-	+	+
По роли в процессе производства	основные инновации (продуктовые и технологические)	-	-	+
	дополнительные инновации развивают имеющиеся базисные технологии	-	+	-
По направленности воздействия на процесс производство	расширяющие инновации	-	+	+
	замещающие инновации	-	+	+
	рационализирующие инновации	+	-	-
По стадиям жизненного цикла продукта	фундаментальные исследования	-	-	-
	идея продукта	-	-	-
	НИР	-	-	+
	ОКР	-	-	+
	разработка технологического процесса	+	+	+
	опытное производство	+	+	+
	выведения продукта на рынок	+	+	+
	рост продаж продукта	+	+	+
	зрелость продукта	+	+	+
	модернизация продукта	+	+	+
передача продукта в конверсионное производство	+	+	+	
спад продукта	+	+	+	

Приведенная классификационная матрица не является исчерпывающей, но при этом необходимо отметить, что в ней представлены взаимосвязи между основными видами инно-

вазии и типами воспроизводства основных фондов. Все что касается разработки продукта в основном производстве на НП, то как правило, продукт от предприятия не зависит. А вот что касается освоения производства – то это только внутренняя среда предприятия (в первую очередь состояние ОФ и кадровый потенциал).

Рассматривая данные процессы в совокупности, сразу напрашивается вопрос о экономической эффективности деятельности предприятия. Сумма затрат зависит от типа инноваций и самого предприятия. Например, если на 90% есть необходимые ОФ, то, как таковых капитальных вложений не требуется, а если нет, то сумма будет неопределенной и зависит от типа инноваций. Если осуществляются инкрементные инновации, то возможна модернизация, а вот если инновации подрывные, то тогда только техперевооружение. На рисунке представлен алгоритм выбора метода прогнозирования типа процесса воспроизводства ОФ, а также параметры необходимые для этого.

Анализируя данный вопрос, встает дополнительная задача – увязка методов прогнозирования и типов инноваций. Данное понимание ситуации поможет получить более или менее точную количественную оценку необходимой суммы капитальных вложений, а также позволит рассмотреть этот процесс во времени. Полученные результаты должны показать суммы финансовых ресурсов и даты их вложения.



*Рисунок – Алгоритм выбора метода прогнозирования типа процесса воспроизводства активной части основных фондов*

Если инновационный процесс более конкретен (НИР, ОКР, опытное производство, освоение рынка), то тогда можно делать отдельные прогнозы по капитальным вложения с достаточной точностью. Каждая инновация характеризует стадии жизненного цикла продукта.

Авторы, в своих исследованиях, предлагают проводить – прогнозирование идет по отдельным элементам с дифференциацией по стадиям жизненного цикла (продукта или технологии). Дифференциация методов прогнозирования можно осуществлять по следующим основным направлениям в зависимости от:

- стадии инновационного процесса;
- стадии жизненного цикла продукта (ЖЦП);
- стадии жизненного цикла технологии (ЖЦТ);
- сферы объекта приложения (производство, НИОКР, рыночные, опытный образец и т.д.).

На данном этапе определяется потребность в капитальных вложениях и соответственно все связанные с этим риски, оценивается уровень неопределенности, выбираются методы прогнозирования процесса воспроизводства активной части ОФ. Выходом данного процесса будет сумма капитальных вложений и сумма дохода по продукту.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Ермасов, С.В. Инновационный менеджмент: учеб. для вузов / С.В. Ермасов. -М.: Высшее образование, 2007. -505 с.  
 2 Голов, Р.С. Инновационно-синергетическое развитие промышленных организаций (теория и методология) / Р.С. Голов, А.В. Мыльник. -М.: Дашков и К, 2010. -420 с.  
 3 Новиков, Д.А. Модели и методы организационного управления развитием фирмы / Д.А. Новиков, А.А. Иващенко. -М.: ЛЕНАНД, 2006. -334 с.  
 4 Трифилова, А.А. Оценка эффективности инновационного развития предприятия / А.А. Трифилова. -М.: Финансы и статистика, 2005. -304 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** модернизация, техническое перевооружение, техническое переоснащение, наукоемкое предприятие, основные фонды

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Еремеев Дмитрий Викторович, канд. экон. наук, доцент КИВТ, филиал ФГБОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** Лукичев Михаил Юрьевич, канд. экон. наук, доцент КИВТ, филиал ФГБОУ ВПО «НГАВТ» 660025, г. Красноярск, пер. Якорный, 3, КИВТ, филиал ФГБОУ ВПО «НГАВТ»

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА ДОСТАВКИ НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Е.С. Жендарева

**METHODICAL FEATURES OF THE TRANSPORT PROCESS OF EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF DELIVERY OF NON-METALLIC CONSTRUCTION MATERIALS**

«Novosibirsk state academy of water transport»  
E.S. Zhendareva

In the article considered methodical specialties of calculation indicators to measure the effectiveness of the process of extraction and transportation of non-metallic construction materials enterprises of water transport.

*Keywords: water transport, transport process, non-metallic construction materials, delivery*

Рассмотрены методические особенности расчета показателей оценки экономической эффективности организации транспортного процесса добычи и доставки нерудных строительных материалов предприятиями внутреннего водного транспорта.

На рынке транспортных услуг Обь-Иртышского бассейна перевозки нерудных строительных материалов (НСМ), добываемых из русла рек пользуются большим спросом. Удельный вес НСМ в грузопереработке портов достигает 70-80%. Это обусловлено значительными темпами развития в регионе жилищного и дорожного строительства.

В этой связи первостепенное значение приобретают проблемы организации работы портов на добыче и доставке НСМ. В условиях ограниченности ресурсов эффективное распределение технических средств, занятых в процессе добычи и переработки НСМ, по участкам работы на современном этапе является одной из наиболее востребованных задач оптимизации работы портов. Кроме того, наиболее полное использование перегрузочных машин в портах позволяет повысить эффективность обслуживания флота, в частности путем сокращения продолжительности стоянки судов под грузовой обработкой и в ожидании ее.

Добыча НСМ из обводненных месторождений осуществляется портами с помощью разнотипных плавучих перегрузочных машин – кранов, землесосов, многочерпаковых снарядов и др. Мобильность и относительная их универсальность позволяет использовать имеющиеся в порту перегрузочные машины на разных участках работы с учетом сферы рационального применения для добычи и перегрузки НСМ.

Так, гидравлический способ добычи НСМ имеет ряд очевидных преимуществ – высокая производительность, качественная выработка месторождений по площади, отмыв значительной части мелких примесей без установки специальных обогатительных устройств. Однако эффективность работы таких установок существенно падает с увеличением содержания в гравийно-песчаной смеси гравия (до 25-30%) и валунных включений.

Технология добычи песчано-гравийных материалов плавучими кранами не обеспечивает полной выработки месторождений по площади. Повышенная степень засоренности вредными примесями загружаемого в суда материала снижает эффективность их по сравнению с машинами гидравлического типа.

Применение многочерпаковых снарядов целесообразно при значительном возрастании в добываемом материале содержания гравия и валунных включений, так как позволяет достичь более качественной разработки месторождений по сравнению с плавучими кранами. Однако вследствие недостаточной глубины опускания черпаковых рам (2-9 м) не всегда обеспечивается полная выработка полезного материала по глубине.

Экономическая эффективность способов добычи и доставки НСМ может быть оценена показателем удельных значений полных приведенных затрат по всей цепочке транспортного процесса (ТП). Поскольку данный показатель обладает свойством аддитивности, отдельные его составляющие могут быть определены по действующим на различных видах транспорта отраслевым методикам.

Для сравнения различных способов добычи и доставки НСМ предприятиями водного транспорта может быть применена методика расчета себестоимости удельных капиталовложений и удельных приведенных затрат по элементным ставкам [1]. В отличие от извест-

ных [2], предлагаемая методика позволяет определить показатели сравнительной эффективности различных способов доставки грузов, не прибегая к определению потребности в различных видах технических средств: механизации, складах, судах и др., что в значительной мере сокращает объем вычислений.

Для определения удельных приведенных затрат, ТП добычи и доставки НСМ внутренним водным транспортом рассматривается с момента добычи и погрузки в судно до момента выгрузки его в пункте назначения (перевалки), и разбивается на три последовательно выполняемых взаимосвязанных элемента:

1 Добыча НСМ из обводненного месторождения плавучими перегрузочными машинами с одновременной погрузкой их в судно;

2 Перевозка НСМ от места добычи к месту выгрузки;

3 Выгрузка НСМ из судна фронтальной механизацией в пункте назначения.

Фракционирование (сортировка, обогащение) НСМ, осуществляется в зависимости от конкретных условий в пункте добычи или выгрузки. Схема организации ТП доставки НСМ внутренним водным транспортом представлена на рисунке 1.



*Рисунок 1 – Схема организации транспортного процесса добычи и доставки НСМ внутренним водным транспортом*

В общем случае показатель удельных приведенных затрат по каждому элементу ТП доставки грузов речным транспортом содержит удельные расходы по заработной плате механизаторов и экипажей судов, эксплуатационные расходы по содержанию перегрузочного оборудования и флота и долю капиталовложений по механизации и флоту. Значения себестоимости, удельных капиталовложений и удельных приведенных затрат определяются как сумма отдельных составляющих по всем элементам ТП:

$$s_{\partial} = \sum_{i=1}^n s_i ; \quad (1)$$

$$k_{\partial} = \sum_{i=1}^n k_i ; \quad (2)$$

$$z = s_{\partial} + E_n \cdot k_{\partial} , \quad (3)$$

где  $s, k$  – себестоимость и удельные капиталовложения по соответствующим этапам ТП, руб./т;

$z$  – удельные приведенные затраты, руб./т;

$E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений.

Себестоимость и удельные капиталовложения по отдельным элементам ТП определяется следующим образом.

По первому элементу ТП: добыча и погрузка НСМ в судно, себестоимость и удельные

капиталовложения определяются по формулам:

$$s_1 = t_n \cdot \sum_{j=1}^m D_j + \frac{C_m}{P_m \cdot k_{сн}}; \quad (4)$$

$$k_1 = \frac{Ц_m}{t_n \cdot P_m \cdot k_{сн}}, \quad (5)$$

- где  $t_n$  – норма времени на добычу и погрузку НСМ в судно, чел.-ч/т;  
 $D_j$  – ставка одного механизатора или члена экипажа судна с учетом дополнительной заработной платы, отчислений на социальное страхование и районного коэффициента, руб./чел.-ч;  
 $C_m$  – суточные эксплуатационные расходы по содержанию плавучей перегрузочной машины, занятой на добыче и погрузке НСМ в судно, руб./сутки;  
 $Ц_m$  – стоимость одной перегрузочной машины, занятой на добыче и погрузке НСМ в судно, руб.;  
 $P_m$  – эксплуатационная производительность одной перегрузочной машины, т/сутки;  
 $k_{сн}$  – коэффициент снижения производительности перегрузочных машин при их концентрации (может применяться исходя из конкретных условий, например, при размещении плавучих кранов по одну сторону загружаемого судна).

При постановке задачи принимается, что на каждом отдельно взятом этапе ТП используются однотипные средства механизации. При необходимости сочетания разнотипных перегрузочных машин на одном этапе выполнения ТП в расчетные формулы вводятся соответствующие суммарные значения показателей по каждому типу механизации.

По второму элементу ТП: перевозка НСМ от места добычи к месту выгрузки, показатели себестоимости и удельных капиталовложений состоят из трех составляющих и определяются по формулам (6) и (7). Первая учитывает расходы и капиталовложения по флоту за время стоянки судна под погрузкой в пункте добычи, вторая – за время движения, третья – за время стоянки судна под выгрузкой в пункте назначения:

$$s_2 = s_{погр} + s_{де} + s_{выгр}; \quad (6)$$

$$k_2 = k_{погр} + k_{де} + k_{выгр}. \quad (7)$$

Составляющие себестоимости и удельных капиталовложений за время стоянки судна под погрузкой и выгрузкой определяются, соответственно:

$$s_{погр(выгр)} = \frac{C_{см} + \sum C'}{P_m \cdot n_m \cdot k_{сн}}; \quad (8)$$

$$k_{погр(выгр)} = \frac{Ц_c + \sum Ц'}{T_n \cdot P_m \cdot n_m \cdot k_{сн}}, \quad (9)$$

- где  $C_{см}$  – показатель судо-суточных расходов по содержанию самоходного (грузового, буксирного) судна за сутки стоянки, руб./судо-сутки;  
 $C'$  – то же по содержанию и эксплуатации несамоходного судна, руб./судо-сутки;  
 $Ц_c, Ц'$  – строительная стоимость соответственно самоходного и несамоходного судна, руб./ед.;  
 $T_n$  – длительность эксплуатационного периода, суток.

Себестоимость и удельные капиталовложения за время движения судна от пункта добычи до пункта выгрузки определяются:

$$s_{де} = \frac{l(C_x + \sum C')}{Q_{эс}} \left( \frac{1}{U_{хе}} + \frac{1}{U_{х0}} \right); \quad (10)$$

$$k_{де} = \frac{l(Ц_c + \sum Ц')}{Q_{эс}} \left( \frac{1}{U_{хе}} + \frac{1}{U_{х0}} \right), \quad (11)$$

- где  $C_x$  – показатель судо-суточных расходов по содержанию самоходного (грузового, буксирного) судна за сутки хода, руб./судо-сутки;  
 $U_{хе}, U_{х0}$  – техническая скорость движения судна (состава) соответственно в грузе и в порожнем, км/сутки;  
 $l$  – расстояние от пункта добычи до пункта выгрузки НСМ, км;

$Q_{эс}$  – эксплуатационная грузоподъемность (загрузка) судна, т.

Исходные величины, входящие в формулы (8)-(11) принимаются с учетом условий работы конкретного порта: длительности эксплуатационного периода, имеющихся в порту типов плавучих и фронтальных береговых перегрузочных машин и флота и т.д.

По третьему элементу ТП: выгрузка груза из судна в пункте назначения показатели экономической эффективности определяются по формулам (4) и (5). Значения исходных величин принимаются с учетом специфики причала выгрузки: типов фронтальной механизации, уровня заработной платы механизаторов и т.д.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Поспелова, А.Н. Методика определения экономической эффективности пакетных перевозок на речном транспорте / А.Н. Поспелова // Совершенствование работы портов и пакетные перевозки: сб. науч. тр. / Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп. -1985. -С. 17-27.

2 Суколенов, А.Е. Методика обоснования на ЭВМ оптимальной механовооруженности причалов / А.Е. Суколенов // Тр. ЦНИИЭВТа. -1972. -Вып. 85. -С. 1-200.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *водный транспорт, транспортный процесс, нерудные строительные материалы, доставка*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Жендарева Елена Сергеевна, старший преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## **О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ФОРМ И МЕТОДОВ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ**

Красноярский институт водного транспорта, филиал ФБОУ ВПО  
«Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**М.Ю. Лукичев, Д.В. Еремеев**

### **ABOUT IMPROVEMENT OF FORMS AND METHODS OF FINANCING OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF A WATER TRANSPORT OF KRASNOYARSK REGION**

«Krasnoyarsk institute of a water transport, branch Novosibirsk state academy of water  
transport»

M.Yu. Lukichev, D.V. Eremeev

Now the financial position of the enterprises of a water transport doesn't allow in sufficient volume to finance innovative development. Absence of sufficient state support compels to involve financing sources with higher risk level. For decrease in risk improvement of forms and methods of financing of innovations is necessary.

*Keywords: financing, innovative development, water transport*

В настоящее время финансовое положение предприятий водного транспорта не позволяет в достаточном объеме финансировать инновационное развитие. Отсутствие достаточной государственной поддержки вынуждает привлекать источники финансирования с более высоким уровнем риска. Для снижения риска необходимо совершенствование форм и методов финансирования инноваций.

Развитие инновационной деятельности является одним из приоритетных направлений развития в Российской Федерации. При этом Красноярский край является одним из немногих регионов России, в которых имеются практически все условия для активного развития инновационной сферы.

Структура экономики края, сегодняшнее состояние промышленности и предпринимательства края, характеризующиеся сырьевой направленностью и высокой степенью физического или морального износа производственных мощностей, потерей рынков высокотехнологичной продукции и переходом на импортзамещение, требует немедленных и эффективных действий по развитию инновационной деятельности, как в крупном, так и в малом и среднем бизнесе. Необходимость внедрения новаторства в регионе в настоящее время имеет острейшую актуальность, задержка в развитии инновационной деятельности может привести край к переходу к самому негативному сценарию развития с практически полной переориентацией на сырьевые сектора экономики, разрушающейся промышленностью, потерей научного и кадрового потенциала, экономической деградации региона в целом [2].

Пароходства Восточной Сибири достигли пика своего развития в 80-е годы, когда происходило бурное освоение природных ресурсов, разработка полезных ископаемых регионов.



На современном этапе отраслевые компании пошли по самому «легкому» пути – это, так называемое, «снижение затрат на производство», к ним относятся затраты на обслуживание производства, ремонт, топливо, материалы, а также заработная плата, налоговые платежи и др. Снижение производственных затрат и отсутствие инвестиций в обновление флота и инфраструктуры привело к ухудшению качества транспортного обслуживания и существенному затруднению инновационного развития [3].

Несмотря на инновационную активность органов государственной власти Красноярского края, государственная поддержка развития водного транспорта заключается в предоставлении субсидий организациям внутреннего водного транспорта края на компенсацию расходов, возникающих в результате государственного регулирования тарифов в пригородном и межмуниципальном сообщении [1].

Внутренний водный транспорт, получающий государственную поддержку, представлен ОАО «Енисейское речное пароходство» и ОАО «Пассажирречтранс» [1].

ОАО «Енисейское речное пароходство» осуществляет перевозку грузов внутренним водным транспортом. Флот ОАО «Енисейское речное пароходство» составляет более 650 судов общей грузоподъемностью 680 тыс. т. В настоящее время предприятие реализует инвестиционную программу по строительству двух барж грузоподъемностью 3000 т.

ОАО «Пассажирречтранс» осуществляет перевозку пассажиров внутренним водным транспортом. Перевозка осуществляется по одному пригородному маршруту, четырем межрайонным и восьми внутрирайонным маршрутам (паромные переправы) семнадцатью единицами подвижного состава. Общая протяженность водных путей пассажирского сообщения составляет 1989 км.

В период существования в нашей стране административной системы управления экономикой, программы научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (НИОКР) для предприятий всех отраслей формировались директивно и ресурсы для их реализации, в том числе и финансовые, поступали централизованно. В сегодняшних условиях проблемы обеспечения инновационной деятельности финансовыми ресурсами предприятия водного транспорта вынуждены решать самостоятельно.

Финансовое положение предприятий речного флота в настоящее время не позволяет в достаточном объеме финансировать НИОКР за счет собственных средств при отсутствии достаточной государственной поддержки. Более того, практически недоступными для этих предприятий стали стабильные источники долевого и долгового характера, которые преобладают в мировой практике финансирования инновационной деятельности.

В результате, предприятия, чтобы не потерять рыночные позиции, вынуждены финансировать свою инновационную деятельность за счет более доступных, но менее выгодных источников, привлечение которых несет дополнительный финансовый риск, в том числе из-за недостаточной теоретической и методической проработки вопросов финансирования.

Под финансированием инновационной деятельности для цели настоящего исследования понимается процесс привлечения и использования финансовых ресурсов для осуществления инновационной деятельности, предусматривающий решение трех основных задач:

– определение оптимального графика финансирования инновационных расходов предприятия;

– выбор и разработку форм финансирования;

– формирование оптимальной структуры (портфеля) источников финансирования [4].

Формы финансирования представляют собой внешнее выражение содержания отношений, с помощью которых предприятие мобилизует финансовые ресурсы. Реализация этих отношений регламентируется финансовыми инструментами и нормативными документами. Совершенствование форм финансирования заключается в разработке новых финансовых инструментов и нормативных документов, а также финансовых операций, основанных на их использовании [4].

Параметры форм финансирования определяются с помощью методов финансирования, под которыми понимаются способы определения (расчета) качественных и количественных параметров финансирования инновационной деятельности, состав которых существенным образом зависит от используемых форм.

Исходя из анализа преимуществ и недостатков различных форм и методов финансирования, становится актуальным их дальнейшее совершенствование, результатом которого должна стать методика финансирования инновационной деятельности предприятия, включающая разработку новых моделей, которые позволят получить приемлемые результаты в

современных условиях. Для чего необходимо комплексное решение трех взаимосвязанных задач: выбора оптимального графика финансирования; разработки форм финансирования; формирования портфеля источников финансирования [4].

Разработку графика финансирования инноваций предлагается проводить на базе прогнозирования денежных потоков предприятия и формирования текущего бюджета инновационной деятельности, оптимизация которого осуществляется с использованием уравнения денежных потоков (экономическая модель предприятия). При этом требование сбалансированности денежных потоков в краткосрочном периоде можно обеспечить использованием «Системы ускорения-замедления денежного оборота», которая представляет собой комплекс мероприятий по ускорению привлечения и замедлению выплат денежных средств, причем определение эффективности мероприятий должно основываться на концепции временной стоимости денег с учетом индивидуальных особенностей предприятия.

Выбор оптимального графика финансирования предлагается осуществлять из сформированной совокупности альтернатив по критерию минимизации инновационных расходов, в том числе процентных издержек, в зависимости от изменения условий их осуществления с учетом влияния внешних и внутренних факторов, обуславливающих финансовый риск, среди которых – показатели финансовой структуры, показатели эффективности инновационных проектов, уровень инфляции, и др.

В свою очередь для нейтрализации финансовых рисков следует использовать традиционные методы: диверсификацию риска (используется при выборе инновационных проектов); лимитирование риска (при определении потребности в средствах и формировании графика финансирования); распределение риска, хеджирование, страхование (при разработке форм и схем финансирования).

Вторая задача нацелена на определение форм финансирования инновационной деятельности предприятий и заключается в выборе традиционных и разработке новых финансовых инструментов и нормативных документов, а также финансовых операций, основанных на их использовании.

Мировая практика свидетельствует о финансировании инноваций преимущественно стабильными источниками, к которым относят собственный капитал, а также долгосрочные и среднесрочные обязательства. Имеется также положительный опыт по созданию венчурных фондов, которые используются для финансирования высоко рискованных инновационных проектов. Чтобы привлечь эти источники, эмитируются соответствующие финансовые инструменты, которые в настоящее время еще не в полной мере адаптированы к российским условиям. Однако методическим инструментарием оценки этих финансовых инструментов, основанным на концепции временной стоимости денег и количественном анализе финансовых операций, нельзя пренебрегать при решении задач финансирования в современных условиях.

Из анализа кредитования российских предприятий, следует, что значительные суммы источников финансирования на данном этапе развития можно привлечь только путем комбинирования различных форм финансирования, что логично приводит к следующей задаче - формированию оптимального портфеля источников по критериям, которые минимизируют влияние неопределенности на принятие финансовых решений. При этом в качестве критерия оценки эффективности финансирования следует принять цену привлечения ресурсов, так как он является интегральным критерием, непосредственно сочетающим в себе основные условия привлечения средств [4].

Результаты, проводимых апробаций позволяют считать, что в результате совершенствования инструментов финансирования инноваций, можно добиться значительного снижения стоимости привлечения источников финансирования и снизить риск невыполнения обязательств.

Рациональное обслуживание предприятием своих обязательств будет способствовать укреплению его финансовой репутации, и позволит планировать распределение будущей прибыли для финансирования некоторых инновационных проектов, не дожидаясь ее фактического получения, что в свою очередь окажет положительное влияние на его финансовое состояние и инновационное развитие.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ведомственная целевая программа «Развитие автомобильного, железнодорожного и внутреннего водного транспорта в Красноярском крае» на период 2011-2013 годов: распоряжение Правительства Краснояр. края от 08.02.2011 №64-р.
- 2 Стратегия инновационного развития Красноярского края на период до 2020 года: (проект) / Правительство Краснояр.

края. -2011.

3 Бунеев, В.М. Стратегия формирования рациональной структуры технических средств речного транспорта: методы обоснования, инвестиции и финансирование / В.М. Бунеев, И.А. Рагулин. -Новосибирск: Сиб. соглашение, 2002.

4 Лукичев, М.Ю. О формах и методах краткосрочного финансирования инновационной деятельности предприятий космического машиностроения / М.Ю. Лукичев // Вестн. Сиб. гос. аэрокосм. ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева. -Красноярск, 2003. - Вып. 4.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *финансирование, инновационное развитие, водный транспорт*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Лукичев Михаил Юрьевич, канд. экон. наук, доцент КИВТ, филиал ФГБОУ ВПО «НГАВТ»  
Еремеев Дмитрий Викторович, канд. экон. наук, доцент КИВТ, филиал ФГБОУ ВПО  
«НГАВТ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *660025, г. Красноярск, пер. Якорный, 3, КИВТ, филиал ФГБОУ ВПО «НГАВТ»*

## **ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНЫЕ БАЛАНСЫ В СИСТЕМЕ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УЧЕТА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТРАНСПОРТА**

**ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»**

**И.А. Трефилова**

### **FUNCTIONAL-VALUE BALANCE IN THE SYSTEM OF TRANSPORT ENTERPRISES STRATEGIC ACCOUNTING**

**«Siberian state transport university»**

I.A. Trefilova

A new approach to the formation of the transport enterprises strategic accounting system with a use of functional-value balance has been suggested. The example of the JSC «Russian Railway» indicators calculations are provided.

*Keywords: strategic accounting, management accounting, value based analysis, functional-value balance*

Предложен новый подход к формированию системы стратегического учета на предприятиях транспорта с использованием функционально-стоимостных балансов. Приведены примеры расчета показателей для ОАО «РЖД».

Современные учетно-аналитические системы недостаточно отвечают информационным потребностям менеджеров. Используя только их, транспортные организации не способны с максимальной отдачей использовать все имеющиеся ресурсы, учитывать многочисленные изменения, происходящие во внешней деловой среде, своевременно адаптироваться к современным условиям хозяйствования, и принимать обоснованные решения по управлению собственным капиталом. Для рационализации и оптимизации формирования учетных данных, повышения их информативности и полезности для различных групп пользователей необходим концептуальный пересмотр сложившейся теории, методологии и практики формирования учетно-аналитического обеспечения управления. Необходимо «встраивание» так называемого стратегического учета в систему управления предприятием.

Важнейшей особенностью современного этапа развития экономики является высокая динамичность бизнеса, которая проявляется в быстроизменяющемся стратегическом окружении, расширенным предложением продукции, работ, услуг, конвергенции технологий, размывании границ между отраслями и сегментами рынка, быстром устаревании информации и др. В настоящее время применение инноваций, владение брендом, высокая деловая репутация не гарантируют стабильного положения на рынке в течение длительного срока. Транспортные организации должны использовать свои конкурентные преимущества на основе использования как внешней, так и внутренней информации. Успешно адаптироваться к условиям рынка возможно при использовании рыночных стратегий и особых приемов управления бизнесом, в том числе путем совершенствования бухгалтерского учета как основы учетно-аналитического обеспечения принятия управленческих решений. Одним из перспективных и быстрорастущих направлений бухгалтерского учета является стратегический учет. За рубежом стратегический управленческий учет традиционно рассматривается в качестве одной из основных технологий, наиболее важных для управленческого учета.

Стратегический учет многолик и включает в себя следующие направления: стратегический учет собственности, затрат, прибыли, денежных потоков, человеческих ресурсов и др. Информация, сформированная в системе стратегического учета, служит основой для проведения внешнего (стратегического анализа) и внутреннего анализа. Стратегический учет имеет целый ряд преимуществ, которые могут быть реализованы на основе организации тактического учета, включающего в себя финансовый, управленческий и налоговый. В на-

стоящее время стратегический учет представляет собой научное направление в бухгалтерском учете и представляет собой учет, направленный на достижение определенной коммерческой организацией его глобальной цели, основанный на взаимодействии методики учета, анализа, планирования и контроля внутренних процессов и параметров меняющейся внешней макросреды.

Как известно, с точки зрения использования в управлении предприятием, сложившаяся методика формирования данных бухгалтерского учета имеет целый ряд недостатков, что сказывается, в конечном счете, на качестве бухгалтерской отчетности. К ним, в частности, можно отнести [3]:

- низкая релевантность современного финансового учета, то есть учет зачастую представляет для принятия решений дезориентирующую информацию;
- историчность бухгалтерского учета и отчетности, заключающаяся в составлении и предоставлении информации заинтересованным пользователям со значительным отставанием от даты, на которую представляются данные отчетности;
- сведения, формируемые бухгалтерским учетом и содержащиеся в бухгалтерской отчетности (например, о финансовых результатах, стоимости чистых активов), искажены в силу определенных условностей (исторической оценки, резервирования, амортизации и т.д.);
- бухгалтерская отчетность, по оценкам специалистов, дает лишь 20% информации, необходимой для проведения финансового анализа;
- недостаточная сопоставимость данных бухгалтерской отчетности в силу использования различных вариантов учета активов и обязательств, закрепленных учетной политикой организации, а также различных методологических приемов, например различных оценок (исторической, смешанной и футуристической);
- финансовые результаты, полученные в рамках существующей учетной методологии, в значительной мере носят условный характер;
- учет не удовлетворяет требованиям современного уровня развития производства и возросшей конкуренции;
- учет практически не учитывает стратегических моментов хозяйственной деятельности;
- традиционные бухгалтерские отчеты не позволяют предоставить релевантную информацию для анализа процесса реализации стратегии организации, а учетные данные, на базе которых она сформирована, не позволяют провести качественный анализ процесса реализации стратегий отдельными бизнес-единицами.

Появление различных направлений развития бухгалтерской мысли, формирующие различные виды учета (стратегического управленческого, креативного, социального, учета человеческих ресурсов, работы с инсайдерами, экологического и др.) связано с попытками повысить релевантность информации, усилить ее ориентацию на принятие управленческих решений. Возникают новые методологические приемы, применяемые в различных видах бухгалтерского учета, направленные на устранение свойственных ему недостатков. Так, ученые и практики рекомендуют для целей управления использовать систему производных отчетов, в том числе, производных балансов, которые являются важнейшим инструментом в системе стратегического учета.

Производные балансы – это балансы, полученные в результате трансформации первичных балансов, или балансы, при построении которых использованы нетрадиционные подходы формирования учетной информации (например, построение прогнозных балансов и т.д.). Здесь речь идет не только об использовании специфических методов построения балансов, но и о построении учетной информации для целей управления собственностью. Данные учета могут быть трансформированы и адаптированы для управленческих целей. Например, активы в статическом балансе для целей принятия управленческих решений могут быть оценены в рыночных ценах. Такой баланс, составленный на основе допущения использования рыночных цен, будет существенно различаться с первичным балансом. Одним из основных отличий данного типа учета состоит в его направленности в настоящее, либо в будущее.

В настоящее время распространение получили нулевые и прогнозные балансовые отчеты, являющиеся разновидностью производных балансовых отчетов. Балансовые отчеты, составленные на базе различных балансовых теорий (статическая, динамическая, органическая) используются в деятельности самых разнообразных специалистов в области экономики. Система производных балансовых отчетов (стратегических, нулевых, органических, иммунизационных, ликвидационных и т.д.) может оказать существенную помощь в условиях

гиперконкуренции, а анализ данных отчетов позволит успешно реализовать коммерческой организации, осуществляемую ею стратегию [1].

Для принятия тактических решений и оперативного управления коммерческой организацией на крупных предприятиях применяется управленческий учет. Под стратегическим учетом понимается учетная система, базирующаяся на данных финансового, налогового и управленческого учета, ориентированная на долгосрочную перспективу и учитывающая влияние внешних факторов.

По мнению целого ряда ученых [4], стоимость компании в отличие от прибыли коммерческой организации является лучшим мерой из всех известных мер измерения результатов деятельности. Если показатель прибыли (балансовой, чистой) пригодны в качестве критерия принятия тактических управленческих решений, то показатели, характеризующие стоимость коммерческой организации, выступают критерием принятия стратегических решений. В настоящее время в системе стратегического учета может применяться целый спектр таких показателей (например, текущая рыночная стоимость фирмы, стоимость чистых активов, добавленная экономическая ценность и т.д.) В качестве мерила стоимости, создаваемой коммерческой организацией в единичный период времени, может быть использован показатель, характеризующий фундаментальную стоимость предприятия [2].

В основе стратегического учета фундаментальной стоимости предприятия лежит понимание ключевых факторов создания стоимости, которые представляют собой переменные, влияющие на стоимость компании. Факторы создания стоимости могут быть получены из финансовой модели бизнеса, а также моделей показателей, лежащей в основе концепции VBM (value based management) – концепции так называемого ценностно-ориентированного менеджмента. При этом постановка стратегического учета позволяет создать информационно-аналитическую базу для реализации на практике управленческих процедур VBM.

Сказанное становится особенно актуальным при применении методологии ценностно-ориентированного менеджмента (VBM – value based management). При этом в ходе реализации процедур VBM трансформируются многие оценочные показатели источников средств предприятия (например, собственный капитал), что, очевидно, требует применения адекватных учетно-аналитических подходов, обеспечивающих баланс между источниками средств и направлениями их использования. Отслеживание направлений использования средств в системе VBM предлагается осуществлять на базе их оценки по возможным будущим эффектам от их использования.

Например, многие крупные предприятия уже применяют оценки основных средств для целей принятия решений об их приобретении по величине возможного эффекта за жизненный цикл их использования [5].

В рамках системы стратегического учета для включения в единый управленческий отчетный документ ценностно-ориентированных оценок источников средств и направлений их использования предлагается формировать так называемые функционально-стоимостные балансы [6]. Указанные балансы могут формироваться как по видам деятельности предприятия, так и по отдельным структурным подразделениям. Проведенные расчеты для ОАО «РЖД» по данным бухгалтерской отчетности за 2008-2011 гг. подтвердили занижение тарифов на перевозки, ведущее к разрушению стоимости компании на 25-30% в год, и возможные направления изменения структуры тарифов между видами перевозок и услуг.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Щербаков, В.А. Экономический анализ деятельности структурных подразделений железнодорожного транспорта / В.А. Щербаков, К.А. Сережин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№1. -С. 82-84.
- 2 Щербаков, В.А. Стоимостный анализ хозяйственной деятельности предприятия – естественной монополии / В.А. Щербаков, Н.А. Щербакова // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№1. -С. 49-52.
- 3 Мамонов, В.И. Координация деятельности предприятий – производителей пространственно дифференцированных товаров / В.И. Мамонов, В.А. Щербаков // Изв. Иркут. гос. экон. акад. -2005. -№3/4 (44/45). -С. 43-50.
- 4 Щербаков, В.А. Оценка стоимости предприятия (бизнеса) / В.А. Щербаков. -4-е изд. перераб. и доп. -М.: Омега-Л, 2012. - 315 с.
- 5 Методика определения стоимости жизненного цикла и лимитной цены подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта. Основные положения: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 27.12.07 №2459р. -62 с.
- 6 Щербаков, В.А. Методология управленческого функционально-стоимостного анализа для предприятий транспорта: монография / В.А. Щербаков, Е.В. Савельева. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2000. -83 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** стратегический учет, управленческий учет, стоимостный анализ, функционально-стоимостный баланс

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Трефилова Ирина Александровна, преподаватель ФГБОУ ВПО «СГУПС»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

## ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИЙ

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения»

О.В. Обухова, Ю.А. Пикалин, С.В. Рачек

ECONOMIC ANALYSIS OF REGIONAL STRUCTURES OF RAILWAY TRANSPORT IN TERMS OF INNOVATIONS

«Ural state university of railway transport»

O.V. Obukhova, Yu.A. Pikalin, S.V. Rachek

It is not always possible to assess effectiveness of the implementation of scientific and technical developments in the practical application of the railway transport without using modern techniques. One of these techniques is to estimate the life cycle of technical products. This article discusses basic direction of investment policy: innovative development of railway transport, in order to upgrade the rolling stock as method of determining the life cycle cost of rolling stock.

Keywords: innovation, investment, modernization, rail transport, JSC «Russian Railway»

Производить оценку эффективности внедрения научно-технических разработок в практическое применение на железнодорожном транспорте, без применения современных методик становится не всегда возможным. Одной из таких методик является оценка жизненного цикла технических изделий. В данной статье рассматривается основное направление инвестиционной политики: инновационное развитие железнодорожного транспорта, с целью модернизации подвижного состава, а также метод определения стоимости жизненного цикла подвижного состава.

Инновационное развитие транспортной отрасли находится сегодня в центре общественного внимания. И дело не в очередной моде. За этим скрывается стремление понять смысл качественных сдвигов в развитии современного мира; понять и адаптировать развитие железнодорожного транспорта к содержанию и ритму все более быстрых перемен; научиться свободно ориентироваться в этом стремительном потоке и направлять его в русло мира и благоденствия [1].

Инвестиционная программа ОАО «РЖД» в целом базируется на основных положениях Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 г. и соответствует Программе структурной реформы на железнодорожном транспорте.

Основным направлением развития компании на этапе реформирования железнодорожной отрасли является повышение эффективности инвестиционной деятельности ОАО «РЖД», а именно одной из главных задач является модернизация подвижного состава, что отражено в таблице [2]. Более 15% от общих капитальных вложений ежегодно расходуются на обновление парка подвижного состава ОАО «РЖД». Всего же на приобретение подвижного состава в 2008-2012 гг. будет затрачено 628 млрд. руб.

Таблица – Структура капитальных вложений ОАО «РЖД» по направлениям инвестирования (млн. руб. без НДС)

Наименование проекта	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г. (план)
Всего капитальных вложений, в том числе:	381 672,6	265 580,9	317 386,8	396 250,9	428 375,3
Обновление подвижного состава ОАО «РЖД»:	89 512,1	58 665,3	46 019,3	66 481,0	56 945,3
– тяговый подвижной состав	35 136,7	26 398,9	34 878,5	50 835,9	43 609,9
– грузовой подвижной состав	18 194,3	4 189,3	91,0	524,3	250,0
– пассажирский подвижной состав	23 361,1	18 205,8	–	–	–
– моторвагонный подвижной состав	12 820,0	9 871,2	11 004,2	14 580,7	12 685,4

Модернизация, главным образом, представляет собой вопрос должной ориентации денежных потоков. Если они будут достаточно интенсивными – дело само по себе двинется в должном направлении.

В железнодорожной отрасли модернизация парка подвижного состава – это реальная проблема, которую диктует нынешняя мировая действительность. Осознание этого привело к постановке на повестку дня проблемы модернизации и инновационного развития как государственной задачи. Данное обстоятельство внесло в продолжающийся обмен мнениями новые, существенные элементы, а именно понимание того, что современная модернизация не возможна без инновационного развития. Необходима инновационная или, как ее называ-

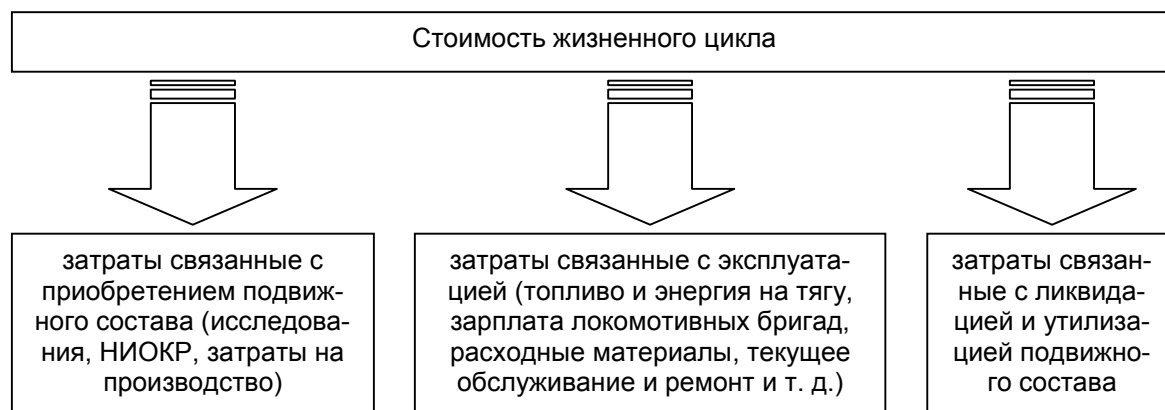
ют эксперты в данном вопросе, «креативная» модернизация, то есть модернизация, основанная, в отличие от «догоняющей» модернизации, на творческих разработках в различных сферах, на внедрении этих инновационных разработок в реальную производственную практику. Нововведения в технологии и в продукции разрабатываются и внедряются в виде проектов. Проект можно представить в виде комплекса взаимосвязанных мероприятий, которые направлены на достижение конкретной цели и которые составляют жизненный цикл инновации [3].

Темпы развития российской экономики требуют соответствующего совершенствования и развития железнодорожной инфраструктуры, которая является основой транспортной системы страны. Главная цель инновационного развития компании – достижение эффективности результатов при постоянном росте качества предоставляемых услуг, высоком уровне инноваций и безопасности перевозок. Стратегическим направлением инновационного развития ОАО «РЖД» является программа по обновлению парка подвижного состава.

В настоящее время существуют различные методики для оценки эффективности приобретения сложных технических изделий производственного назначения. Все более широкое применение получает методика оценки стоимости жизненного цикла изделия. Данную методику можно сравнить с формированием бизнес-плана на приобретение, эксплуатацию и ликвидацию отдельного технического изделия. Таким образом, период расчета охватывает весь срок эксплуатации нововведения.

Методология оценки жизненного цикла изделия все чаще применяется для оценки инновационных мероприятий. В области железнодорожного транспорта применять данную методику можно для оценки внедрения более производительного оборудования, выбора вариантов модернизации технических систем и др. Важной особенностью данной методологии является её применимость только к функционально завершённым техническим системам, например таким, как объекты железнодорожного подвижного состава. Применение методологии стоимости жизненного цикла к отдельным деталям, узлам и комплектующим затруднено, так как необходимо учитывать не только технические характеристики самих этих объектов, но и влияние их изменения на показатели технической системы в целом [4].

Согласно данной методике, стоимость жизненного цикла внедрения модернизированного подвижного состава, будет представлять собой затраты связанные с приобретением, эксплуатацией и утилизацией подвижного состава (рисунок).



*Рисунок – Стоимость жизненного цикла*

Использование современного подвижного состава с улучшенными характеристиками позволяет повысить экономическую эффективность деятельности региональных структур железнодорожного транспорта, в части снижения текущих затрат на производство ремонта вследствие сокращения трудоемкости, материалоемкости, энергоемкости; улучшения условий труда локомотивных бригад; снижения затрат на охрану окружающей среды в виду экологичности подвижного состава.

Таким образом, инвестиционное развитие без инновационной составляющей в динамично изменяющемся мире достаточно трудно достигнуть. Поэтому, анализируя инвестиционную политику ОАО «РЖД», можно сказать, что компания придерживается политики инновационно-инвестиционного развития, направленной на обеспечение железнодорожного транспорта высокоэффективным подвижным составом. Реализация амбициозных проектов

в значительной степени повысит качество транспортного обслуживания грузовладельцев и пассажиров и позитивно отразится на экономике страны в целом, а экономическая оценка этих процессов является перспективным направлением современной экономической науки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Инновационная модернизация России. Политологические очерки / под ред. Ю.А. Красина. -М.: Ин-т социологии РАН, 2011.
- 2 Режим доступа: [http://ir.rzd.ru/static/public/ir?STRUCTURE\\_ID=35](http://ir.rzd.ru/static/public/ir?STRUCTURE_ID=35)
- 3 Обухова, О.В. Разработка математической модели определения экономического эффекта при инновационной модернизации подвижного состава / О.В. Обухова, Ю.А. Пикалин, С.В. Рачек // Казан. наука. -Казань, 2012. -№3. -С. 147-150.
- 4 Кострикин, К.О. Оценка стоимости жизненного цикла – новый подход к ценообразованию на железнодорожную технику / К.О. Кострикин // Техника ж.д. -2008. -№2 (май). -С. 18-22.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** инновации, инвестиции, модернизация, железнодорожный транспорт, ОАО «РЖД»  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Обухова Ольга Викторовна, аспирант ФГБОУ ВПО «УрГУПС»  
Пикалин Юрий Анатольевич, докт. экон. наук, профессор ФГБОУ ВПО «УрГУПС»  
Рачек Светлана Витальевна, докт. экон. наук, профессор ФГБОУ ВПО «УрГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, ФГБОУ ВПО «УрГУПС»

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАПИТАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ ТРАНСПОРТА**

**ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»**

**Д.Э. Мартынова, В.А. Щербаков**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF USE OF THE CAPITAL OF THE ENTERPRISES OF TRANSPORT**  
**«Siberian state transport university»**  
D.E. Martynova, V.A. Shcherbakov

The article identifies the main stages of analysis of the use of assets of transport organizations. The results are based on the calculated value of the market value of equity. Each stage of the analysis involves a study of specific database and a corresponding algorithm. The results of the calculations of capital productivity the marginal discount rate and the fundamental value of the these enterprises are provided.

*Keywords: value of the company, output capital ratio, transport, efficiency of use of the capital, financial analysis*

Определены основные этапы анализа использования капитала в транспортных организациях. Результаты основаны на рассчитанной величине рыночной стоимости капитала. Каждый этап анализа предполагает исследование определенной информационной базы и соответствующий алгоритм расчета. Приведены результаты расчета показателей капиталоемкости, предельной ставки дисконтирования, фундаментальной стоимости этих предприятий.

В условиях России железнодорожный транспорт наиболее эффективен для перевозки массовых видов грузов на средние и дальние расстояния с высокой концентрацией грузовых потоков, а также для перевозки пассажиров на средние расстояния и в пригородном сообщении.

Автомобильный транспорт не может составить конкуренции железнодорожному в массовых межрайонных грузовых перевозках прежде всего из-за его высокой удельной энергоемкости и себестоимости перевозок, большой дальности перевозок и отсутствия современной сети автодорог высокого технического уровня.

Главные отличия авиации – самого молодого и бурно развивающегося вида транспорта — от других видов транспорта и преимущества ее перед ними заключаются в наивысшей путевой скорости перевозок и сравнительно меньшей зависимости от состояния и функционирования наземных технических средств (они сосредоточены в основном на аэродромах). Подобная независимость авиации делает её незаменимым средством сообщения в труднодоступных, малообжитых районах страны, особенно с суровым климатом, как, например, в северных районах Сибири, Дальнего Востока и Камчатки.

Транспорт является одной из крупнейших системообразующих отраслей, имеющих тесные связи со всеми элементами экономики и социальной сферы. По мере дальнейшего развития страны, расширения ее внутренних и внешних транспортно-экономических связей, роста объемов производства и повышения уровня жизни населения значение транспорта и его роль как системообразующего фактора будут только возрастать. Поэтому транспортная сфера имеет особую инвестиционный интерес.



Предприятия различных видов транспорта функционируют в едином «инвестиционном пространстве», образуя конкурирующую среду. Определение из инвестиционной привлекательности обуславливается эффективностью использования их собственного капитала.

В настоящее время структура капитала является тем фактором, который оказывает непосредственное влияние на финансовое состояние предприятия – его платежеспособность и ликвидность, величину дохода, рентабельность деятельности. В качестве показателя, характеризующего эффективность использования капитала отдельного предприятия принят показатель капиталоемкости.

Капиталоемкость – один из важнейших показателей эффективности функционирования фирмы. Её рост имеет огромное значение для экономики. Чем выше капиталоемкость, тем меньше средств затрачивает предприятие на возмещение основного капитала для достижения запланированного прироста доходности.

Существует множество видов анализов капитала предприятий. При анализе стоимости предприятия финансовый анализ проводят в 2 этапа: предварительный и комплексный.

Предварительный включает в себя анализ общей деятельности предприятия, составление имущественной оценки предприятия на основе финансовой отчетности предприятия.

Комплексный анализ заключается в определении расчетных показателей и в создании аналитического отчета.

Рассмотрим методику формирования стоимостного анализа хозяйственной деятельности предприятия на примере предприятий транспортной отрасли.

Для стоимостной оценки хозяйственной деятельности были выбраны следующие предприятия транспортной отрасли: ОАО «РЖД», «ТрансАЭРО», «Первая грузовая компания» (ПГК), «НовосибАвтоДор» (НАД), «ЮтЭйр».

Стоимостная оценка предприятия – это определение в денежном выражении стоимости предприятия учитывающей его полезности и затраты связанные с получением этой полезности. В соответствии с приказами Минэкономразвития РФ существует нормативный порядок определения стоимостной оценки [2].

Этапы определения стоимостной оценки предприятия:

Первый этап – аналитический анализ. Подготовка исходной информации для анализа. Исходной информацией для анализа является аналитический баланс (таблица 1), а также аналитический отчет о прибылях и убытках [1].

*Таблица 1 – Баланс (аналитический) на конец года*

АКТИВ		ПАССИВ	
A1	строка (250)+строка (260)	П1	строка(620)
A2	строка(240)	П2	строка(610)+строка(630)+ строка(660)
A3	строка(210)+строка(220)+строка(230)+строка(270)	П3	строка(590)+ строка(650)+строка(640)
A4	строка (190)	П4	строка(490)
Итого		Итого	

Данные о прибылях и убытках предприятий отражены на сайте министерства финансов, в отчетности налоговой полиции [2].

Второй этап – финансовый анализ. Целью финансового анализа деятельности предприятия является:

- определение возможности продолжения функционирования предприятия в будущем;
- определения уровня эффективности деятельности предприятия.

Финансовый анализ включает в себя: анализ платежеспособности и финансовой устойчивости.

Коэффициенты ликвидности дают общую оценку ликвидности активов предприятий, показывающие кол-во рублей активов, приходящиеся на 1 руб. обязательств.

Для анализа финансовой устойчивости использовались следующие показатели [1]:

- Собственные оборотные средства

$$СОС = П4 - А4 ;$$

- Излишек источников собственных средств

$$\pm E_c = СОС - А3 ;$$

- Излишек источников собственных средств и долгосрочных обязательств

$$\pm E_m = СОС - А3 + П3 ;$$

- Излишек источников собственных средств, долгосрочных и краткосрочных обяза-

тельств

$$\pm E_{\Sigma} = COC + П2 - А3 + П3 .$$

*Таблица 2 – Финансовое состояние предприятий на конец 2010 года*

Наименование показателя	Обозначение	РЖД	НАД	ПГК	ЮтЭйр	ТранАэро
Коэффициент текущей ликвидности	$K_{тек}$	0,89128	1,5108	3,42499	1,9071	1,42513
Коэффициент критической ликвидности	$K_{крит}$	0,47035	0,6734	3,10001	0,1178	1,06427
Коэффициент абсолютной ликвидности	$K_{абс}$	0,20214	0,3565	1,81953	0,1478	0,15146
Собственные оборотные средства	$COC$	-28698511	469357	1265446	-4499313	-6632274
Излишек источников собственных средств	$E_c$	-415370635	-4488	7533715	-4508376	-15554138
Излишек источников собственных средств и долгосрочных обязательств	$E_m$	-79921278	1353	11880011	-741	1589094
Излишек источников собственных средств, долгосрочных и краткосрочных обязательств	$E_{\Sigma}$	-32462041	4402	14945385	-741	13001923
Трехкомпонентный показатель	–	(0;0;0)	(0;1;1)	(1;1;1)	(0;0;0)	(0;1;1)
Экономическая рентабельность	$R_3$	3,74	26,025	12,360	0,022	6,13
Коэффициент ресурсоотдачи	$K_{ро}$	0,319	3,058	0,653	0,003	1,406
Коэффициент отдачи собственного капитала	$K_{оск}$	0,375	5,542	0,903	2,099	42,839

Для комплексной оценки финансовой устойчивости предприятия используется трехкомпонентный показатель, характеризующий три типа финансового состояния (абсолютное, нормально и неустойчивое). Таким образом, таблица 2 показывает, что: к абсолютному финансовому состоянию относится только предприятие «Первая грузовая компания», к неустойчивому: ОАО «РЖД» и авиакомпания ЮтЭйр.

Также на данном этапе проводится анализ рентабельности и деловой активности предприятия. Рассчитываются показатели экономической рентабельности, коэффициента ресурсоотдачи и коэффициента отдачи собственного капитала.

Недостаток собственных оборотных средств также свидетельствует о финансовой неустойчивости предприятий ОАО «РЖД» и авиакомпании «ЮтЭйр». В среднем в коэффициенты текущей ликвидности практически всех предприятий попадают в рекомендуемый интервал (1,0-2,0), следовательно каждое предприятие обладает достаточным количеством средств для покрытия краткосрочных обязательств. И абсолютная и текущая ликвидность на предприятиях есть.

Низкий показатель экономической рентабельности авиакомпании «ЮтЭйр» относится к факторам, усугубляющим финансовое состояние предприятия, однако данный показатель не является предопределяющим банкротство компании. Показатели экономической рентабельности других предприятий выше, что свидетельствует об увеличении эффективности их деятельности.

3 Третий этап – расчет числа лет прогнозного периода и величин денежных потоков. Прогнозные финансовые отчеты играют важную роль в разработке будущих планов предприятия и оценке влияния управленческих решений на финансовые показатели деятельности в будущем. Составление прогнозного отчета является завершающим этапом построения комплекса бюджетных документов.

В данном этапе рассчитываются следующие показатели: прибыль от продаж, собственные оборотные, денежный поток  $i$ -го года прогнозного периода, накопленный денежный поток.

4 Четвертым, завершающим этапом анализа является – расчет величин стоимости предприятия, предельной ставки дисконтирования и показателя капиталотдачи [1].

Предельная ставка дисконтирования  $LRR$  (ставки дисконтирования, при которой стоимость предприятия, рассчитанная доходным подходом  $S_0$ , равна стоимости предприятия, рассчитанной имущественным подходом  $S_u$ ) – это процентная ставка, используемая для перерасчета будущих потоков доходов в единую величину текущей стоимости. В данном случае выражение для расчета  $LRR$  можно записать следующим образом

$$LRR = \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+LRR)^i} + \frac{CF_n(1+t)}{(1+LRR)^n(LRR-t)} - A = 0,$$

где  $CF_i$  – денежный поток  $i$ -го года прогнозного периода;

$t$  – прогнозный период;

$A$  – активные средства на конец года.

Расчет показателя стоимости предприятия  $S_0$  проводится путем вычитания из суммы текущих стоимостей ожидаемых потоков доходов предприятия величины обязательств

$$S_d = \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+DR)^i} + \frac{CF_n(1+t)}{(1+DR)^n(DR-t)} - П1 - П2 - П3,$$

где  $DR$  – расчетная ставка дисконтирования.

Фактическим значением результирующего показателя является результат расчета стоимости предприятия доходным подходом.

Величина капиталоотдачи за 2010 год

$$KO = \frac{\text{Выручка}_{2010}}{S_d}.$$

Основными задачами при использовании метода дисконтирования денежных потоков стали: анализ прошлых и прогноз будущих денежных потоков, определение стоимости предприятия на конец прогнозного периода, а также определение рациональной ставки дисконтирования денежных потоков.

В таблице 3 приведены расчеты показателей для всех выбранных предприятий.

*Таблица 3 – Стоимостный анализ предприятий*

Показатель	РЖД	НАД	ПГК	ЮтЭйр	ТранАэро
$LRR$	0,153	0,083	0,075	0,115	0,055
$DR$	0,107	0,058	0,053	0,081	0,039
$S_0$	1015613888,8	1347322,1	230961637,9	8183812,5	112234868,6
$KO$	1,177	1,952	0,421	0,0002	0,344

Несмотря на то, что наиболее высокая ставка дисконтирования принадлежит транспортной компании ОАО «РЖД» (15,3%), неизменная ставка дисконтирования обуславливает существенную разницу стоимости единицы дохода в течение прогнозного периода.

Величина капиталоотдачи показывает эффективность использования основных фондов. Рост капиталоотдачи обеспечивает дополнительный денежный доход без соответствующего наращивания производственного потенциала. Наиболее высокая величина капиталоотдачи принадлежит грузовой компании «НовосибирскАвтоДор», это обусловлено ростом активной части основных фондов. Наименьшая величина капиталоотдачи принадлежит авиакомпании «ЮтЭйр». Причиной этого стало не только неустойчивое финансовое состояние, но и увеличение стоимости установленного оборудования, а так же увеличение капитальных вложений в основные фонды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Щербаков, В.А. Оценка стоимости предприятия (бизнеса) / В.А. Щербаков, Н.А. Щербакова. -3-е изд., перераб. и доп. - М.: Омега-Л, 2009. -288 с.

2 Об утверждении федерального стандарта оценки «Общие понятия оценки, подходы к оценке и требования к проведению оценки (ФСО№1): приказ Минэкономразвития РФ от 20 июля 2007 г. №256 // Рос. газета. -2007. -4 сент.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** стоимость предприятия, капиталоотдача, транспорт, эффективность использования капитала, финансовый анализ

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Мартынова Дарья Эдуардовна, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
Щербаков Валерий Александрович, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

## **ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ ЭКОНОМИСТОВ В УСЛОВИЯХ НОВЫХ РЕАЛИЙ РАБОТЫ ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО БЛОКА ОАО «РЖД»**

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**А.П. Дементьев**

**DEVELOPMENT OF ECONOMISTS' COMPETENCES IN NEW WORKING ENVIRONMENT FOR THE FINANCIAL AND ECONOMIC BLOC OF JSC «RUSSIAN RAILWAYS»**

«Siberian state transport university»

A.P. Dementiev

The analysis of the modern approaches to the concept «competence» is given in the article including the repertoire of professional competences for specialists of the financial and economic bloc in the context of «Strategies for personnel potential development in JSC «Russian Railways» till 2015».

*Keywords: competence, repertoire of knowledge, skills and abilities, specialist of the financial and economic bloc, matrix (model) of competences*

Проведен анализ современных определений понятия «компетенция» и сформирован набор отраслевых профессиональных компетенций к специалистам финансово-экономического блока в контексте «Стратегии развития кадрового потенциала ОАО «РЖД» на период до 2015 года».

Целевой установкой подготовки бакалавров, специалистов и магистров по направлению «экономика» является формирование определённых компетенций будущих экономистов. Существует множество концептуальных определений понятия «компетенция».

Например, компетенция – это комплексная (интегральная) характеристика способности и готовности выпускников демонстрировать и применять полученные в результате освоения общеобразовательных программ знания, умения, навыки, а также личностные качества в стандартных и изменяющихся ситуациях профессиональной деятельности.

В расширенном толковании компетенция – это рабочее поведение, значимое для эффективного выполнения работы организации в целом, в которой индивид должен проявить определенные знания, умения, поведенческие навыки, гибкие способности и профессионально-важные качества личности [2]. Компетенция – это область ответственности и определенная область полномочий. Нередко понятие компетенция на практике смешивается с понятием компетентность. Однако «компетенцию» удобно интерпретировать как название шкалы, а «компетентность» – как уровень на шкале или область действия компетенции в рабочей деятельности.

Измерение уровня компетенции может производиться следующим образом:

- 1 Поверхностные знания;
- 2 Знает общие принципы;
- 3 Способен использовать базовые знания;
- 4 Глубокие знания;
- 5 Эксперт.

Будучи приложенными к конкретному человеку, они гарантируют, что он способен выполнять определенную роль в компании. Например, набор компетенций экономиста гарантирует, что данный человек способен выполнять все действия, которые требуются согласно должностной инструкции экономиста. Разумно также дополнить общие знания качеством поведения в рабочей ситуации.

Стоит отметить, что значение термина компетенции ближе отечественному понятию «соответствие должности» или профессионализму, а определение уровня профессионализма проводится в виде аттестации, когда документально подтверждается классность, категория и разряд. Это отражается на уровне доплат и поощрений.

Как отмечалось, компетенция экономиста широкого профиля и экономиста – транспортника рассматривается как совокупность знаний, умений и навыков. Учитывая, что его компетенция – это ещё и «рабочее поведение», можно констатировать, что совокупность компетенций состоит из трёх основных блоков:

- экономические компетенции;
- неэкономические компетенции;
- поведенческие (социальные) компетенции.

В статье Д.А. Мачерета, первого заместителя председателя Объединенного ученого со-

вета ОАО «РЖД» [1], экономические компетенции выделяются в виде:

- компетенции в конкретных дисциплинарных областях;
- общефункциональные, междисциплинарные компетенции.

При этом очевидно, что не всегда их можно полностью разделить, так как функциональные компетенции, как правило, формируются при изучении определенных дисциплин, к которым они в большей степени тяготеют [1]. Поэтому в общем виде экономические компетенции в отрасли железнодорожного транспорта можно также классифицировать как базовые (фундаментальные) и специальные.

Базовые знания основываются на экономической теории, теории статистики, теории бухгалтерского учёта и экономического анализа, общего курса финансов, менеджмента, маркетинга.

Для экономиста железнодорожного транспорта фундаментальные знания дополняются железнодорожной статистикой, экономикой и финансами железнодорожного транспорта. Учитывая чрезвычайную технологическую сложность перевозочного процесса, особенности организационной структуры и системы финансово-экономических отношений с внешними и внутренними контрагентами компании ОАО «РЖД», необходимо овладевать специальными знаниями о железнодорожном транспорте как особой сфере человеческой деятельности. Экономист структурного подразделения ОАО «РЖД» должен отвечать требованиям полноценного экономиста, а также обладать уникальными компетенциями, отражающими специфику отрасли.

Специальные знания формируются при изучении дисциплин, так называемого, железнодорожного цикла: планирование и бухгалтерский учёт на железнодорожном транспорте, анализ производственно-хозяйственной деятельности предприятий отрасли, менеджмент на транспорте, калькулирование себестоимости перевозок и др. В транспортном высшем учебном заведении особенности железнодорожного транспорта рассматриваются в отдельных разделах общеобразовательных дисциплин: «Управленческий учёт» предусматривает изучение постановки подсистемы управленческого учёта в ОАО «РЖД», в курсе «Налоги и налогообложение» отражаются особенности исчисления и уплаты отдельных видов налогов на уровне единого юридического лица – «РЖД» – его филиалов и обособленных структурных подразделений, в дисциплине «Инвестиции» большинство расчётных задач и примеров основано на инвестиционных проектах ОАО «РЖД».

Знания, полученные в процессе обучения, должны быть востребованы в практической работе экономиста. Поэтому данный вид компетенции, заложенный образовательным стандартом, целесообразно соотносить с должностными инструкциями (картами) практикующего экономиста.

Не следует забывать, что экономические компетенции включают в себя помимо знаний набор навыков и умений. Выделение навыков и умений экономиста для всех отраслей экономики и экономиста в транспортной сфере деятельности представляет более сложную задачу. Очень часто они обозначаются очень формально, исходя из теории профессии, и не привязываются к практической деятельности экономиста. Для конкретизации навыков и умений, входящих в компетенцию экономиста, необходимо также рассматривать их применительно к должностным инструкциям (или картам) специалистов.

Неэкономические компетенции включают все знания, напрямую не связанные с экономическими решениями и расчетами, но позволяющие расширить кругозор экономиста для их выполнения. К неэкономическим компетенциям в сфере железнодорожного транспорта можно отнести знания по организации перевозочного процесса, понимание мультимодальных перевозок, позволяющее эффективно использовать различные виды транспорта; знание логистики, значение которой возросло в новых условиях организации перевозок и коммерческой работы. Поэтому в перечень обязательных дисциплин для экономистов – транспортников входит экономическая география и общий курс железных дорог. Крайне важно знание транспортной техники и технологии в пределах, необходимых для обоснования их экономической эффективности в процессе замены и обновления, а также при анализе их технического состояния и использования. Не случайно при наличии этих компетенций формируется высокообразованный специалист: инженер-экономист.

В условиях рыночных отношений, обострения конкуренции в сфере грузовых и пассажирских перевозок усиливается роль эффективного менеджмента и значение дисциплин общего менеджмента и менеджмента качества. Носитель данного знания (компетенции) становится экономистом-менеджером.

К неэкономической компетенции, безусловно, относится знание иностранного языка. Глобализация экономики, расширение международных связей, участие в международных конференциях и, в отдельных случаях, необходимость прочтения литературы и документов на иностранных языках делают эту компетенцию желательной, а чаще необходимой в практике экономической работы. Однако это не исключает хорошего владения русским языком для разработки внутренних документов и положений, обоснования планов и инвестиционных проектов, проведения бюджетных комиссий и совещаний по вопросам экономики организации.

Нельзя забывать о хорошей математической подготовке экономиста, который в целях текущего и особенно стратегического планирования (бюджетирования) должен владеть математическим моделированием и экономико-математическими методами (цикл математических компетенций). Родственным данному циклу является информатика, бизнес-информатика и различные информационные технологии в сфере экономики, труда и финансов.

Важным для экономиста является знание основ гражданского и трудового права, которое является определяющим для легитимности хозяйственных и экономических операций и для организации труда и заработной платы в соответствии с действующим законодательством.

Поведенческие (социальные) компетенции представляют собой особый набор знаний, навыков и умений, на первый взгляд, не имеющих никакого отношения к экономической практике. Однако они имеют прямое отношение к общечеловеческой деятельности и поэтому очень важны в работе любого специалиста, включая экономиста.

Например, для руководящих работников экономических органов полезным является знание психологии, умение работать в команде и создавать нормальный психологический климат в коллективе. Данная поведенческая компетенция является нелишней и для рядовых работников экономических служб и отделов организации.

К поведенческой компетенции можно также отнести преданность компании, что приветствуется в ОАО «РЖД», отражается на карьерном росте и уровне заработка. Бесспорно, что многолетняя деятельность в одной компании, причем, желательно в различных иерархических структурах (вверх по карьерной лестнице) повышает знания, навыки, опыт и экономические компетенции в целом.

В современном специалисте, особенно работающем в такой динамично развивающейся компании как ОАО «РЖД», выделяют умение мыслить, принимать самостоятельные решения, высказывать собственное мнение. Данную поведенческую компетенцию иначе можно обозначить как креативность личности, которая является одной из определяющих для лидерства во всех сферах деятельности, включая экономическую.

Набор рассмотренных экономических, неэкономических и поведенческих компетенций не является абсолютным и полным, отдельные компетенции остались за рамками исследования. Все компетенции, представленные выше, объединяет одна цель: сформировать специалиста с развитым экономическим мышлением, позволяющим обеспечить конкурентоспособность железнодорожного транспорта, его финансовую и экономическую стабильность, несмотря на финансовые кризисы и другие проблемы рыночной экономики.

Рассмотренные выше компетенции, но с определенными уточнениями, можно применить и к экономистам, работающим в финансовом (бухгалтерском) блоке ОАО «РЖД». Переход от горизонтальной к вертикально-интегрированной системе управления компанией позволил выделить бухгалтерский учет в отдельный филиал – общий центр обслуживания, что незначительно изменило функции и компетенцию бухгалтера (экономиста-финансиста) структурного подразделения. В настоящее время бухгалтер уделяет больше внимания составу и достоверности финансовой отчетности, порядку её составления по российским и международным стандартам, способу её представления. У него появилась возможность заниматься анализом отчетности и выработкой соответствующих управленческих решений.

В связи с этим повысились требования к знаниям законодательно-нормативных актов в сфере бухгалтерского учета РФ и международных стандартов. Оказались востребованными навыки и умения финансового и управленческого анализа, налоговых расчётов и финансовых расчётов между структурными подразделениями компании.

Для отражения связи между функциональными обязанностями экономистов различных профилей, работающих в структурных подразделениях ОАО «РЖД», и необходимыми для их выполнения компетенциями, а также учебными дисциплинами, обеспечивающими набо-

ром знаний, навыков и умений, возможна разработка специальных моделей (матриц). Матрицы должны обобщать знания, навыки и умения экономиста для выполнения своих производственных обязанностей, то есть его компетенции во взаимосвязи с видами выполняемых работ согласно должностной инструкции. Это позволит в каждом конкретном случае установить тесную зависимость программ теоретической подготовки экономиста с его будущей практической деятельностью.

При наличии модели (матрицы) можно рассмотреть также перечень компетенций экономиста, которыми он должен обладать, и уровень владения этими умениями, который считается достаточным для успешной деятельности.

В матрицах можно выделять профессиональные и личностные компетенции. Важно, чтобы ключевые компетенции соответствовали корпоративной культуре и декларировали рабочее поведение, которое приводит к эффективной деятельности или достижению профессионального успеха. Под компетентностью часто подразумевают профессиональные или корневые компетенции. Профессиональные компетенции легко проверить и определить их уровень, так как они регламентированы в должностных инструкциях.

Модели могут иметь различную структуру, разный набор показателей, но, в любом случае, отражать множественные взаимосвязи компетенций экономистов с образовательной системой и с производственной сферой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Мачерет, Д.А. Какие знания и умения необходимы в современных условиях экономисту на транспорте? / Д.А. Мачерет // Экономика желез. дорог. -2010. -№8.

2 Максимова, О.Г. Формирование профессиональной компетентности будущих экономистов в условиях современного ВУЗа [Электронный ресурс] / О.Г. Максимова, Л.А. Харитоновна. -Режим доступа: vestnik.tspu.ru

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** компетентность, набор знаний, навыков и умений, специалист финансово-экономического блока, матрица (модель) компетенций

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Дементьев Алексей Петрович, канд. экон. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**В.А. Щербаков, К.А. Серезжин**

**AN INVESTMENT ATTRACTIVENESS DETERMINATION METHOD VIA THE REAL VALUE WEIGHTED AVERAGE COST OF THE DEBT CAPITAL HAS BEEN SUGGESTED**

«Siberian state transport university»

V.A. Shcherbakov, K.A. Serezhin

An investment attractiveness determination method via the real value weighted average cost of the debt capital has been suggested. The calculations of JSC «Russian Railway» are provided.

*Keywords: investment attractiveness, value based analysis, weighted average cost of capital, real and limited discounting rate, return rate*

Предложен новый подход к формированию системы стратегического учета на предприятиях транспорта с использованием функционально-стоимостных балансов. Приведены примеры расчета показателей для ОАО «РЖД».

Инвестиционная привлекательность предприятия представляет собой совокупность различных объективных признаков, средств, возможностей и ограничений, обуславливающих интенсивность привлечения инвестиций (инвестированного капитала). Наиболее важным показателем, характеризующим привлечение инвестированного капитала ( $IC$ ) является стоимость его привлечения ( $WACC$ -средневзвешенная стоимость привлечения инвестированного капитала). Величина  $WACC$  также определяет норму доходности, на которую может рассчитывать инвестор, вкладывая средства в данное предприятие. К сожалению в экономической науке практически отсутствуют методики, позволяющие измерять данный показатель для конкретного предприятия, используя данные его финансовой отчетности. Предлагаемая методика устраняет указанный пробел.

Современная рыночная экономика предопределяет тенденцию изменения традиционного содержания показателей и методик экономического анализа хозяйственной деятельности предприятий. На первый план выходят задачи стоимостного анализа [2] результативности хозяйственной деятельности во всех ее аспектах (рыночном, производственном, финансово-инвестиционном). Стоимостный анализ (или, точнее, анализ стоимости предприятия) является основой аналитического инструментария оценки стоимости предприятия (бизнеса) [4] и ценностно-ориентированного менеджмента (VBM – value based management) [1].

Последовательность реализации методики оценки инвестиционной привлекательности предприятия представляется в виде шести укрупнённых этапов:

1 Подготовка исходной информации для анализа заключается в формировании аналитических форм бухгалтерского баланса и отчета о прибылях и убытках с проведением (при необходимости процедур корректировки в целях анализа [4].

При этом известные рассчитываются показатели, характеризующие ликвидность баланса [3]:

- A1 – наиболее ликвидные активы;
- A2 – быстро реализуемые активы;
- A3 – медленно реализуемые активы;
- A4 – трудно реализуемые активы;
- П1 – наиболее срочные обязательства;
- П2 – краткосрочные пассивы;
- П3 – долгосрочные пассивы;
- П4 – постоянные пассивы.

Также рассчитываются показатели [3]:

- EBIT* – операционная прибыль до выплаты процентов и налога;
- IC* – инвестированный капитал равен сумме платных привлеченных финансовых ресурсов (собственный капитал, долгосрочные и краткосрочные кредиты и займы);
- TA* – сумма активов (валюта баланса).

2 Расчет показателей финансовой устойчивости [3]:

- $K_a$  – коэффициент автономии;
- $K_{фy}$  – коэффициент финансовой устойчивости;
- $K_{фp}$  – коэффициент финансовой активности (финансового рычага);
- $K_m$  – коэффициент маневренности собственного капитала;
- $E_m$  – излишек (недостаток) собственных оборотных средств и долгосрочных пассивов;
- $E_{\Sigma}$  – излишек (недостаток) собственных оборотных средств, долгосрочных и краткосрочных пассивов.

3 Рассчитываются прогнозные показатели. Ниже приведены формулы (нейтральная ситуация) полученные линейной интерполяцией трех лет предпрогнозного периода и неизменности среднего финансового положения в этот период:

– сумма активов предприятия на конец *i*-го года прогнозного периода

$$TA_{ki} = \frac{1}{4}(-TA_{k(i-3)} + TA_{k(i-1)})i + \frac{1}{12}TA_{k(i-3)} + \frac{1}{3}TA_{k(i-2)} + \frac{7}{12}TA_{k(i-1)};$$

– операционная прибыль до выплаты процентов и налога *i*-го года прогнозного периода

$$EBIT_i = \frac{1}{4}(-EBIT_{(i-3)} + EBIT_{(i-1)})i + \frac{1}{12}EBIT_{(i-3)} + \frac{1}{3}EBIT_{(i-2)} + \frac{7}{12}EBIT_{(i-1)};$$

– величина инвестированного капитала на конец *i*-го года прогнозного периода

$$IC^{ki} = TA^{ki} \left[ \frac{(K_a^{k(i-3)} + K_a^{k(i-2)} + K_a^{k(i-1)})(K_{фp}^{k(i-3)} + K_{фp}^{k(i-2)} + K_{фp}^{k(i-1)} + 3) + (K_{фy}^{k(i-3)} + K_{фy}^{k(i-2)} + K_{фy}^{k(i-1)})}{9} + \frac{(K_{фy}^{k(i-3)} + K_{фy}^{k(i-2)} + K_{фy}^{k(i-1)})}{3} - 1 \right] + \frac{(E_{\Sigma}^{k(i-3)} + E_{\Sigma}^{k(i-2)} + E_{\Sigma}^{k(i-1)} - E_m^{k(i-3)} - E_m^{k(i-2)} - E_m^{k(i-1)})}{3}.$$

– величина денежного потока *i*-го года прогнозного периода

$$CF^i = EBIT^i (1 - НПp) - (IC^{ki} - IC^{k(i-1)}),$$

где *НПp* – ставка налога на прибыль;

– число лет прогнозного периода  $n_{\min}$  рассчитывается при выполнении неравенства [4]



$$CR_n = \sum_{i=1}^n CF_i - \frac{CF_n(1+t)}{t} + TA^{k(i-1)} \geq 0;$$

– рентабельность инвестированного капитала

$$ROIC^{ki} = \frac{EBIT^i(1-НПр)}{IC^{ki}};$$

– величина добавленной экономической ценности  $i$ -го года прогнозного периода

$$EVA^i = (ROIC^{ki} - WACC)IC^{ki}.$$

4 Расчет величины стоимости предприятия имущественным подходом

$$S_u = П4^{k(i-1)}.$$

5 Расчет величины предельной ставки дисконтирования ( $LRR$ ) проводится из решения уравнения

$$\sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+LRR)^i} + \frac{CF_n(1+t)}{(1+LRR)^n(LRR-t)} - TA^{k(i-1)} = 0.$$

где  $t$  – темп прироста дохода в постпрогнозный период.

Величина  $LRR$  определяет среднюю предельно допустимую стоимость привлекаемых инвестиционных ресурсов, при которой предприятие работает эффективно.

6 Расчет величины реальной ставки дисконтирования (средневзвешенной стоимости капитала  $WACC$ ) проводится из решения уравнения

$$S_\delta = S_{EVA};$$

где  $S_\delta$  – стоимость предприятия, рассчитанная методом дисконтированных денежных потоков

$$S_\delta = \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+WACC)^i} + \frac{CF_n(1+t)}{(1+WACC)^n(WACC-t)} - П1^{k(i-1)} - П2^{k(i-1)} - П3^{k(i-1)},$$

$S_{EVA}$  – стоимость предприятия, рассчитанная методом добавленной экономической ценности

$$S_{EVA} = \sum_{i=1}^n \frac{EVA_i}{(1+WACC)^i} + \frac{EVA_n(1+t)}{(1+WACC)^n(WACC-t)} + П4^{k(i-1)}.$$

Представленная методика оценки инвестиционной привлекательности позволяет с существенным устранением субъективности рассчитать важнейшие показатели инвестиционной привлекательности предприятия ( $WACC$ ,  $LRR$ ), позволяющие проводить сравнительный анализ между различными предприятиями как одной отрасли, так и различных отраслей и видов деятельности. Методика может эффективно применяться в инвестиционном анализе, процедурах стратегического учета, мониторинге результатов предпринимательской деятельности.

Так, например, данная методика применялась для анализа инвестиционной привлекательности ОАО «РЖД» по данным бухгалтерской отчетности за 2010 год. Проведенные расчеты дали следующие величины показателей:  $WACC = 5,43\%$  и  $LRR = 5,08\%$ .

Указанные величины позволяют сделать следующие выводы об инвестиционной привлекательности ОАО «РЖД» и дать некоторые рекомендации:

Малая величина показателей и их соотношение друг с другом ( $WACC > LRR$ ) свидетельствует о достаточно низкой инвестиционной привлекательности предприятия (можно даже говорить об ее отсутствии).

Для выправления ситуации необходимо:

- изменить тарифную политику (увеличить доходы);
- увеличить долю прибыли в выручке (рентабельность продаж);
- провести переоценку балансовой стоимости собственного капитала в сторону его уменьшения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Волков, Д.Л. Теория ценностно-ориентированного менеджмента: финансовый и бухгалтерский аспекты / Д.Л. Волков. - 2-е изд. -СПб.: Высш. шк. менеджмента, 2008. -320 с.
- 2 Ковалев, А.П. Стоимостный анализ: учеб. пособие / А.П. Ковалев. -М.: МГТУ «Станкин», 2000. -171 с.
- 3 Когденко, В.Г. Методология и методика экономического анализа в системе управления коммерческой организацией: монография / В.Г. Когденко. -М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2008. -543 с.
- 4 Щербаков, В.А. Оценка стоимости предприятия (бизнеса) / В.А. Щербаков, Н.А. Щербакова. -4-е изд., перераб. и доп. - М.: Омега-Л, 2012. -315 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *инвестиционная привлекательность, стоимостный анализ, стоимость капитала, фактическая и предельная ставка дисконтирования, норма доходности*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Щербаков Валерий Александрович, канд. экон. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
Сережин Константин Александрович, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

## **ПРИОРИТЕТЫ ПРОЕКТА СЕВЕРО-СИБИРСКОЙ МАГИСТРАЛИ**

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей  
сообщения»

**В.Я. Ткаченко, Н.М. Лихачева**

**PRIORITIES OF THE PROJECT OF THE NORTH-SIBERIAN RAILWAY**  
«Siberian state transport university»

V.Ya. Tkachenko, N.M. Likhacheva

The authors reveal and discuss the priorities that should be followed when prioritizing the construction of the North-Siberian railway, with the implementation of the «Strategy-2030».

*Keywords: railroad, strategy, construction, priority, North-Siberian railway*

Рассмотрены приоритеты, которыми следует руководствоваться при установлении очередности строительства Северо-Сибирской железнодорожной магистрали при реализации «Стратегии-2030».

Успешное строительство Транссиба, связанное с этим укрепление позиций России на Дальнем Востоке и, главное, быстрое формирование вдоль магистрали широтной зоны хозяйственного освоения превзошло самые смелые ожидания, породила, наряду с прочим, стратегическое предложение по строительству второго широтного железнодорожного хода, получившего название Великого Северного пути. В 1916 г. строительство ВСП было определено особым междуправительственным совещанием и включено в пятилетний план железнодорожного строительства [1]. Оно нашло признание и у новой, советской власти. В 1919 г. за подписью В.И. Ленина вышли постановления Совнаркома «О Великом Северном пути» и «О предоставлении концессии на Великий Северный путь».

Концепция плана опиралась на признание необходимости развертывания нового строительства в темпах, объемах и масштабах, опережающих процесс расширения территорий промышленного и аграрного производства. Фронт нового строительства планировалось сместить в восточные и северные районы.

Особое внимание уделялось Великому Северному пути (ВСП). На западе он должен был соединить северную Сибирь с портами Балтийского моря и незамерзающим портом Мурманск, а на востоке предполагалось провести линию через Енисейск и золотопромышленные районы Якутии к удобным бухтам на Тихоокеанском побережье [2].

В послевоенные годы, когда по стратегическим соображениям началось строительство Приполярной магистрали Чум (Воркута)-Салехард-Игарка (а в годы Великой Отечественной войны была построена железная дорога от Котласа к Печорскому угольному бассейну), проект ВСП был снят с обсуждения. Он в значительной степени трансформировался в проект Северо-Сибирской магистрали (Северосиба) и ее восточного звена – БАМа. БАМ построен. Очередь за Северосибом.

В 1960-80 гг. одним из главных мотивов в пользу строительства Северосиба выступала разгрузка Транссиба и, затем уже, расширение зоны хозяйственного освоения. На востоке крайней точкой магистрали определился Усть-Илимск, на западе – Серов и Киров. По этому направлению в начале 80-х годов Сибгипротрансом было выполнено камеральное трассирование линии [3].

С распадом СССР ситуация изменилась. Выход на Киров потерял актуальность. На западе, на Баренцевом море нужен новый морской порт для независимого выхода в мировой океан. Кроме того, особую актуальность приобретают проблемы транспортного обслуживания Тимано-Печерского нефтегазового комплекса, месторождений углеводородов материка и шельфа Баренцева моря, освоения сырьевой базы Республики Коми, обеспечения сырьем и топливом промышленности Урала и взаимодействия с республиками севера Западной Сибири. Наиболее перспективным местом для порта является Индига.

В пространстве от Индиги до Советской Гавани следовало бы сформировать Северо-Российскую межконтинентальную (Евразийскую) магистраль (транспортный коридор), состоящую из БАМа, Северосиба, Урало-Сибирского звена (Усть-Юган -Ханты-Мансийск -Сосногорск) и Баренцкомур (Сосногорск-Индига). Строительство Северосиба и Баренцкомура предусматривается «Стратегией-2030». В дальнейшем, рассматривая приоритеты, будем говорить преимущественно о «большом» Северосибом.

Определим приоритеты строительства Северосиба. Они могут быть сгруппированы по нескольким уровням – от глобального до внутрипрограммного.

В числе главных выступает *транспортно-географический* фактор, конкретно – фактор континентально-океанической дихотомии. Из нее следует, что экономическое развитие страны и эволюция общества в значительной мере определяются ее географическим положением – является ли страна континентальной либо океанической. «Исходными причинами в геополитическом отношении являются неодинаковые возможности создания, перераспределения и присвоения прибавочного продукта в континентальных странах и регионах, которые определяются преимуществом экономичного морского транспорта над более затратным сухопутным» [4]. Основным фактором являются транспортные издержки: у внутриконтинентальных товаропроизводителей они в 3-4 раза превышают затраты океанических производителей. Сибирь – суперконтинентальный регион, что в известной мере и объясняет медленное хозяйственное освоение его территорий.

Определились два главных направления в преодолении негативного влияния континентальности: экономическое районирование и магистрализация транспорта, чему и отвечает строительство Северосибирской магистрали.

СевероСиб это новый шаг встраивания России в мировые экономические связи и, соответственно, в глобальную экономику. Приоритет Северосиба, во взаимодействии с Транссибом, проявится в увеличении транзитных перевозок по северо-восточному ребру геостратегического треугольника, который составляют страны НАФТА (Канада, США), Юго-Восточной Азии и Европы. Сейчас из 700 тыс. контейнеров, ежегодно отправляемых из стран АТР в Европу, на Транссиб попадают около 10%. Остальные следуют круглым морским путем с двухкратным увеличением времени хода. С передачей части грузовых перевозок на Северосиб Транссибирская магистраль может принять вдвое больший поток контейнеров. В перспективе, со строительством Беринговской магистрали, значительная часть ее перевозок пойдет по Северосибу.

Строительство Северосиба отвечает задачам магистрализации страны, формированию опорной транспортной решетки [3]. При этом широтная направленность магистрали усиливает ее приоритетность в части заселения Сибири и стратегической защищенности страны.

Исследования института географии СО РАН [4] показывают, что выдающееся экономико-географическое положение по людности и экономической роли имеют поселения – узловые и на железнодорожных линиях. Численность городского населения в них превышает 99%. В то же время в поселениях на водных линиях и удаленных от железнодорожных и водных линий городское население составляет всего 5,6%, а поселения деградируют.

Из приоритетов *странового уровня* отметим прежде всего результаты исследований ИЭОПП СО РАН [5]. Значимость магистрали оценивалась решением задачи народнохозяйственного уровня в вариантах «с Северосибом» и «без Северосиба». При наличии Северосиба среднегодовые темпы валового выпуска по России в целом и ее европейской части будут выше, нежели без Северосиба (таблица 1).

Сходная картина прогнозируется и по отдельным отраслям промышленности. В варианте «с Северосибом» ресурсы Европейской части страны направляются для роста более эффективных здесь отраслей – машиностроения, легкой промышленности, черной металлургии. Одновременно в азиатской части России появляется возможность использовать эффект масштаба – организовать добычу на новых крупных месторождениях.

Таблица 1 – Темпы валового выпуска

Территория	Без Северосиба	С Северосибом
Россия в целом	5	6,1
Европейская часть России	4,5	6,4
Азиатская часть России	6,4	5,7

Строительство Северосиба как фактор магистрализации территории означает формирование нового широтного пояса экономического развития как в азиатской части страны, так на ее европейском Севере, ширина полосы хозяйственного тяготения будет составлять 500-600 км, а на пересечении с судоходными реками практически неограниченно – вплоть до портов широтного Северо-морского пути. Появляется возможность создания не отдельных узкоспециализированных очагов развития, а крупных интегрированных производственно-транспортных зон (ИПТЗ).

Исследованиями ИЭОПП СО РАН определена пространственная структура ИПТЗ на базе Северосиба и его взаимодействия с Транссибом [5]. На Дальнем Востоке это, прежде

всего, Ванино-Совгаванская ИПТЗ, перспективы развития которой определяются интенсивно-расширяющимися экономическими связями России со странами АТР. В Южно-Якутской ИПТЗ наряду с Нерюнгринским разрезом коксующихся углей планируется освоение Эльгинского угольного разреза, а также добыча и вывоз железной руды и концентратов. Перспективы и потенциал развития Северо-Читинской ИПТЗ связан с крупными запасами здесь нефти, полиметаллов и урана. Развитие Северо-Иркутской ИПТЗ связывается с энергетикой, цветной металлургией и лесопромышленным комплексом, с разработкой новых железорудных месторождений и поставкой концентратов на Урал. Масштабность Нижнеангарского проблемного региона ресурсного типа в Красноярском крае определена в федеральной целевой программе (1997 г.). Развитие Северо-Томской ИПТЗ связано с перспективой развития лесопромышленного комплекса и экспортом Кузнецкого угля. Роль Среднеобской ИПТЗ обусловлена ростом потребления нефти и нефтепродуктов в стране и мире. Наличие же независимых выходов к морским портам на западе и востоке страны отвечает задачам интеграции отечественной экономики в мировую систему и обеспечению стратегической национальной безопасности страны.

Первостепенное значение имеет социальный аспект. Как и сто лет назад по-прежнему актуальны мысли П. Столыпина о том, что заселение территории позволит сохранить ее за государством лучше и намного дешевле, чем это способны сделать многочисленная армия и крепости. Только роль крепостей и армии здесь должны играть военно-морские базы и аэродромы со специалистами, а население – это люди, занятые в традиционном хозяйстве и на ресурсодобывающих и ресурсоперерабатывающих объектах, чья экономика связана с надежно действующим транспортным комплексом, имеющим двойное назначение.

Поскольку сегодня Россия ограничена возможностью маневра в западном и южном направлениях, то северное и восточное направления становятся главными [4]. Что касается северного направления, то Северосиб и создаваемый на его основе экономический пояс в перспективе будет служить опорной базой формирования Полярной широтной магистрали Лабитнанги-Новый Уренгой–Игарка-Тутончаны-Мирный-Якутск. В этом поясе выделяют обширную по территории Норильско-Туруханскую ИПТЗ, включающую Норильский, Ванкорский, Диксоновский, Енисейский и другие центры и промузлы.

Взаимодействие Северосиба с Транссибом, помимо увеличения международных контейнерных перевозок, открывает возможность качественного преобразования последнего. Если сейчас Транссиб вынужден быть единственной грузопассажирской магистралью и перевозить все виды грузов, то при наличии «дублирующей» широтной магистрали он может быть преобразован в скоростную грузо-пассажирскую магистраль. Большинство межрегиональных и местных грузовых перевозок может быть передано на Северосиб.

Приоритеты внутрипрограммного уровня установлены предпроектными исследованиями организации строительства железной дороги (ОСД). Исследования Северосиба осуществлялось в границах, установленных «Стратегией 2030» в составе трех звеньев: восточного (Усть-Илимск-Лесосибирск, 935 км), центрального (474 км) и западного (Белый Яр-Нижневартовск, 587 км) [3].

В связи с наличием Федеральной целевой программы развития Нижнего Приангарья строительство магистрали предпочтительно начинать с *восточного* участка. Рассматривалось два варианта ОСД – двухлучевой схемы по базовому (№1) варианту (продолжительностью 8 лет) и 4-лучевой схемы (№2) по альтернативному варианту (6 лет). Продолжительность расчетного периода экономического сравнения вариантов (когда транспортно-экономические системы по вариантам придут в сопоставимое состояние) определилась в 14 лет. Результаты расчетов таковы:

- альтернативный вариант предпочтителен;
- совокупный эффект почти достигает стоимости строительства линии;
- наибольшая доля приходится на эффект в народнохозяйственном комплексе (87%);
- следующий эффект (10,6%) обязан коммерческим перевозкам;
- дополнительные затраты варианта №2 по ускорению строительства линии окупаются эффектом, который превышает их в 5,5 раз.

Организация строительства и ввода *Северосиба в целом* исследовалась время вариантами ОСД: №1 – от базового варианта восточного участка; №2 и №3 – от альтернативного варианта восточного участка. Общая продолжительность строительства магистрали определилась: по варианту №1 – 13 лет; по варианту №2 – 11 лет; по варианту №3 – 9 лет. Расчетный срок экономического сравнения вариантов определился в 16 лет.

Результаты в народнохозяйственном комплексе, оцениваемые по выручке вновь формируемых леспромхозов, оцениваются более чем в 903 млрд. руб. по базовому варианту и более 1040 млрд. руб. по вариантам №2 и №3. При средней километровой стоимости линии в ценах начала 2007 г. 171 млн. руб. эффект по варианту №3 соизмерим со стоимостью 6100 км железной дороги.

Отдельно исследовались результаты в перевозочном процессе – по обслуживанию клиентуры. Объемы перевозок приняты по предварительному прогнозу ИЭОПП СО РАН [3]. Выделены перевозки местные, участкового транзита и сквозного транзита. По величине выручки от транзитных перевозок эффект достигает 43,2 млрд. руб. (вариант №3), а от всех видов перевозок наибольшая выручка достигает 102 млрд. руб.

По совокупному результату (от работы предприятий в зоне хозяйственного тяготения и обслуживания перевозок клиентуры) следует рекомендовать вариант №3 ОСД. Выручка по нему определена в 1145 млрд. руб.

Получила оценку задача повышения надежности и устойчивости строительной программы на основе государственно-частного партнерства, реализуемого в виде концессий. Анализ чувствительности проекта для определения эластичности ЧДД и ВВД (чистого дисконтированного дохода и внутренней нормы доходности) к вариациям ключевых параметров показал, что коммерческая эффективность достигается при уровне господдержки не менее 75%. Срок концессии как важный предмет «торга» государства и бизнеса достаточен в 35 лет.

В заключение отметим, что анализ приоритетов и показателей на всех уровнях свидетельствует о большой важности и высокой эффективности проекта Северосибя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Второй журнал заседания Особого межведомственного совещания по выработке плана железнодорожного строительства на предстоящее пятилетие (1917-1922 гг.). -Пг., 1916.
- 2 Проблемные регионы ресурсного типа: Азиатская часть России / под ред. В.А. Ламина, В.Ю. Малова. -Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. -385с. -(Интеграционные проекты СО РАН; вып. 4).
- 3 Северо-Сибирская магистраль: предпроектные исследования / В.Я. Ткаченко, В.Ю. Малов, В.Д. Верескун, В.С. Воробьев. -Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2010. -240 с.
- 4 Азиатская часть России: новый этап освоения северных и восточных регионов страны / В.Ю. Малов [и др.]; под ред. В.В. Кулешова. -Новосибирск: ИЭОПП, 2003. -59 с.
- 5 Экономические аспекты разработки транспортной стратегии России: науч. доклады / Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т экономики и орг. пром. пр-ва. -Новосибирск: ИЭОПП, 2003. -59 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** железные дороги, стратегия, строительство, приоритеты, Северо-Сибирская магистраль  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Ткаченко Виктор Яковлевич, докт. экон. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
Наталья Маратовна, канд. экон. наук, преподаватель ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

## О СРАВНЕНИИ МОСТОВЫХ И ТОННЕЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ ВОДОТОКОВ НА ПРИМЕРЕ ПЕРЕХОДА РЕКИ ЛЕНА У ЯКУТСКА

ЗАО «Бамтоннельстрой»  
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**В.В. Гридасов, П.Е. Голото, В.С. Молчанов, Г.Н. Полянкин, Ю.А. Цибариус**

### COMPARISON OF TUNNEL AND BRIDGE TRANSPORT CROSSING OF RIVERS AND OTHER WATERWAYS ON EXAMPLE OF LENA CROSSING BY YAKUTSK

«Bamtonnelstroy»  
«Siberian state transport university»  
V.V. Gridasov, P.E. Goloto, V.S. Molchanov, G.N. Polyankin, Yu.A. Tsibarius

Problems in projecting of transport crossing of rivers and other waterways are analyzed. Special aspects of construction and maintenance of bridge and tunnel facilities in operating period are discussed. Calculation of tunnel construction cost and time-frame were made by the instrumentality of complex project management system Oracle Primavera P6. We show advantages of tunnel (combined road and railway) against projected double decker bridge at Lena crossing by Yakutsk. It is confirmed by cited expert's reports from three detached organizations. Approaches used in the article may serve as a method to evaluate crossing alternatives of any other waterways, e.g., Strait of Tartary to connect the continental country part with Sakhalin, St. Petersburg's islands etc.

**Keywords:** bridge crossing, subaqueous tunnel, ramp area, permanently frozen soil, permafrost conditions, frost-shattered splitting bridge pier concrete, ice drift

Рассмотрены вопросы сравнения мостовых и тоннельных вариантов транспортных переходов

водотоков. Показаны основные технико-экономические показатели вариантов. Обоснована нецелесообразность выбора мостового перехода, показаны недостатки на стадии строительства и эксплуатации. Предложены варианты трассы и конструкции тоннельного пересечения. Приведен анализ рекомендаций экспертных заключений: Сибирского отделения Тоннельной Ассоциации России, Научно-технического экспертно-консультационного Совета Санкт-Петербургского регионального отделения Тоннельной Ассоциации России, Института мерзлотоведения СО РАН. Дано обоснование по выбору варианта строительства тоннельного перехода.

Вопросам сравнения мостовых и тоннельных вариантов транспортных переходов водотоков уделяли достаточное внимание и раньше [1-3]. Но лишь теоретически, поскольку технологии тоннелестроения не конкурировали с мостостроительными по срокам выполнения работ и стоимостям. В результате число существующих в нашей стране подводных транспортных тоннелей, даже включая тоннели метрополитена, остается незначительным. В частности, было заморожено начатое в довоенный период строительство тоннеля под Татарским проливом на остров Сахалин. Современные тоннелестроительные механизированные комплексы даже больших диаметров 10 м и более обеспечивают средние скорости проходки не менее 200 м/месяц, и при пересечении широких водотоков тоннели могут успешно конкурировать с мостами, в том числе по стоимости, как строительства, так и содержания в эксплуатационный период.

Строящаяся железнодорожная линия Беркамит-Томмот-Якутск является ключевым объектом в формировании круглогодично функционирующей транспортной сети на Северо-Востоке страны. В 2009 г. ОАО «Трансмост» завершило проектирование двухъярусного совмещенного мостового перехода через р. Лена в составе дороги у Табагинского мыса общей длиной (с эстакадной частью) 3531 м под один путь и автомобильным проездом с двумя полосами движения. В конструкции моста предусмотрены двухъярусные пролетные строения (12 шт. по 154 м и 4 шт. по 308 м), 19 сборно-моноклитных опор высотой до 30 м, фундаменты из буронабивных свай (более 300 шт.) диаметром 1,95 м и длиной до 30 м.

Строительство и эксплуатация моста с такими большими пролетами в условиях сурового климата и многолетнемерзлых грунтов вызывает ряд проблем. Сложности представляют: необходимость укладки большого объема монолитного бетона (100000 м<sup>3</sup>) преимущественно в тепляках; большая потребность (56000 т) стали марки 10ХСНД, пригодной для эксплуатации при температурах ниже 50 °С, производство которой в стране ограничено; большая дальность транспортировки крупногабаритных элементов пролетных строений с завода в г. Улан-Удэ; подверженность размыву и разрушениям фундаментов и опор во время мощных паводков и ледоходов (последнее потребовало гранитной облицовки опор на высоту 20 м); обеспечение надежности работы безбалластного мостового полотна ж.д. яруса из железобетонных плит, ездового полотна автодороги из сталефибробетона, деформационных швов и опорных частей при больших температурных деформациях длинных пролетов и пр.

ОАО УСК «Мост» и Компания «Бамтоннельстрой» предложили рассмотреть вариант строительства взамен моста совмещенного тоннеля с размещением ж.д. пути и автомобильной дороги в одном уровне. Предложение о строительстве тоннеля нашло отображение в предпроектных проработках «Бамтоннельстрой», ООО ПИИ «Бамтоннельпроект» и ООО «Красноярскметропроект». Первоначально предлагался комплекс, состоящий из совмещенного (железнодорожно-автодорожного) тоннеля и сервисной штольни (рисунок 1а). Однако, поскольку совмещенное движение вызывает трудности организации работ по содержанию сооружения в эксплуатационный период, то в последующем был проработан вариант строительства отдельных транспортных тоннелей (рисунок 1б).

Сооружение береговых и рамповых участков тоннелей может быть осуществлено открытым способом; подводных тоннелей кругового очертания в коренных грунтах на глубинах 50-95 м – тоннелепроходческими механизированными комплексами Herrenknecht HART-13210 (диаметр резания 13,2 м) и Lovat Seli-Lovat RME-394DS с активным пригрузом забоя. Основные характеристики комплекса тоннельных сооружений: диаметры обделки (внешний/внутренний): автодорожного тоннеля – 12830/11830 мм; железнодорожного тоннеля – 9700/8800 мм.

С учетом Высшего Исторического Уровня (ВИУ) воды р. Лена, необходимости выноса рамповых участков и заглубления тоннелей ниже уровня меженных вод, общая длина тоннеля в районе створа проектируемого моста составляет 6610 м (в том числе береговые и рамповые участки: с левого берега участка 409 м, с правого – 341 м). Смещение перехода

на 35 км по сравнению со створом моста позволило бы осуществить движение транспорта между г. Якутском и Нижним Бестяхом по кратчайшему пути, хотя и удлинит тоннель.

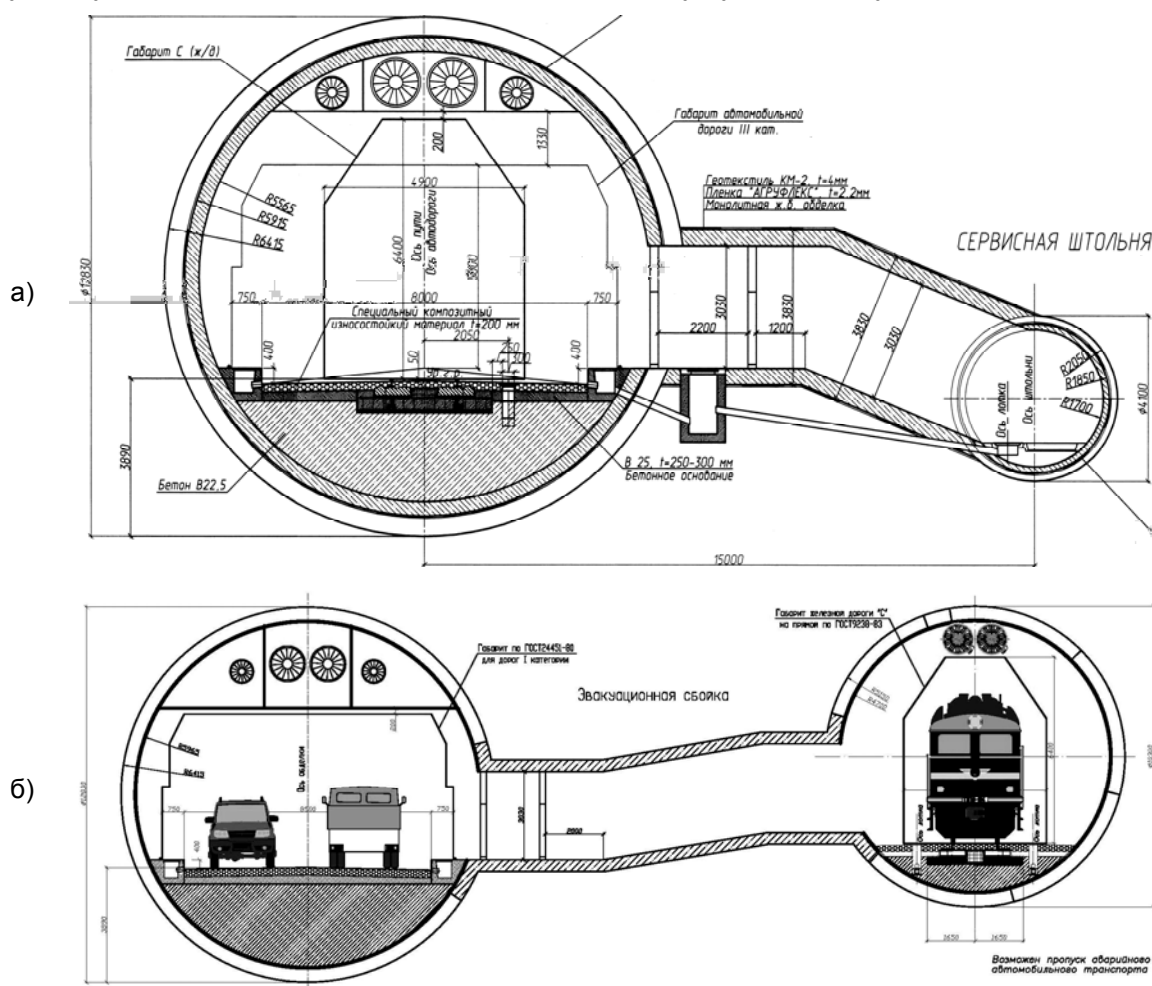


Рисунок 1 – Поперечное сечение подводного тоннельного комплекса: а)-с параллельной сервисно-дренажной штольней и совмещенным автомобильно-железнодорожным движением по тоннелю; б)-с раздельными транспортными тоннелями

В процессе подготовки материалов были выполнены расчеты стоимости и сроков выполнения тоннелестроительных работ с использованием комплексной системы управления проектами Oracle Primavera P6, являющейся американской разработкой. В зарубежной практике управления проектами нет понятия физических объемов операций (шт., кубические метры, комплексы и т.д.). Поэтому перед моделированием проекта пришлось выполнить адаптацию программного продукта под особенности российской практики управления проектами. Адаптация позволила производить моделирование с учетом данных о достигнутых темпах выполнения работ, не изменяя видовые экраны, сразу контролировать объемы включенных в модель работ.

В результате были составлены варианты календарных графиков строительства и проведен стоимостный анализ в разрезе различных статей затрат, с учетом средних скоростей проходки, а также объемных и стоимостных показателей, достигнутых тоннелепроходческими комплексами на объектах «Бамтоннельстроя». Возможность раздельной оценки по статьям позволяет проводить оптимизацию расходной части проекта. Составлен также сетевой график сооружения объекта, позволяющий оценить технологию строительства, идентифицировать возможные риски и выполнить корректировки на этапе предпроектных проработок. Основные сложности при разработке графика были связаны с отсутствием полных данных о геологических условиях, наличии ограничений по срокам и стоимости сооружения объекта, изменениями места пересечения реки, размеров участков открытого и закрытого способов работ и, как следствие, с приблизительными оценками объемов работ. Расчеты позволили дать следующий прогноз: срок строительства совмещенного тоннеля и сервисной штольни по створу моста – 4,8 лет; стоимость строительства 39,372 млрд. руб.



Вопрос о возможности и целесообразности варианта строительства подводного тоннеля взамен мостового перехода рассмотрели с выдачей Экспертных Заключений: Сибирское отделение Тоннельной Ассоциации России, Научно-технический экспертно-консультационный Совет Санкт-Петербургского регионального отделения Тоннельной Ассоциации России и Институт мерзлотоведения СО РАН.

В Заключении Сибирского отделения Тоннельной Ассоциации России даются рекомендации по определению уклонов и длины тоннелей, организации рампового участка и порталов, технологии проходки тоннелей и отмечается, что температура вечномёрзлых коренных пород близка к 0° С, поэтому рекомендуется вести расчеты по грунтам в талом состоянии; все участки, на которых располагаются проектируемые объекты комплекса мостового перехода, можно отнести ко II категории сложности по инженерно-геологическим условиям, за исключением крутого склона на левобережном подходе, где возможно пройти только выемкой. Условия на этом участке следует отнести к сложным (III категория). Основными негативными факторами, которые могут осложнить строительство тоннельного перехода, являются, кроме суровых климатических условий, высокий уровень паводковых вод и возможное затопление подводных тоннелей. Проходка тоннеля на участках многолетнемерзлых грунтов должна осуществляться после проведения мероприятий по сохранению мерзлоты.

В Заключении Научно-технического экспертно-консультационного Совета Санкт-Петербургского регионального отделения Тоннельной Ассоциации России отмечается следующее. Наличие на трассе тоннеля многолетнемерзлых грунтов необходимо учитывать при сооружении и эксплуатации тоннеля, с принятием мер сохранения мерзлоты. Следует также проработать вопрос теплоизоляции и огнезащиты конструкций. Сечение тоннеля наружным диаметром 12,83 м является оптимальным при проектных транспортных нагрузках (13 пар поездов в сутки и автодорога III категории). При дальнейшем развитии транспорта возможна малозатратная трансформация тоннеля в двухполосный автодорожный или двухпутный железнодорожный. Однако целесообразно рациональней использовать сечение: лотковую часть тоннеля можно использовать для прокладки кабельных линий и трубопроводов различного назначения.

В Заключении Института мерзлотоведения СО РАН отмечается следующее. В связи с большими перепадами температур возникает опасность морозобойного растрескивания бетонных опор моста. Тоннельный переход будет эксплуатироваться в условиях значительно меньшего перепада температур, то есть угроза температурных деформаций конструкций сводится к минимуму. Мостовые опоры и высокие насыпи в пойме будут провоцировать заторы, заболачивание прилегающих участков поймы, осложнять судоходство. Тоннельный переход не будет препятствием для весеннего ледохода и пропуска паводковых вод, даст возможность проводки судов без ограничения их габаритов. Геокриологические условия могут оказать осложнения при строительстве и эксплуатации насыпей подходов к мосту. Для тоннельного перехода сохранение грунтов в мерзлом состоянии не является необходимым условием. Однако, формирование локальных замкнутых объемов мерзлых грунтов и, особенно, их новообразование представляют опасность в связи с возможным возникновением криогенных напоров у обделки, что требует изучения и прогноза температурного режима грунтов на порталных участках.

Во всех экспертных Заключениях отмечается целесообразность строительства тоннельного перехода взамен мостового. Возможность строительства тоннеля под руслом р. Лены была рассмотрена на совещании Правительства Республики Саха (Якутия) с участием заместителя министра транспорта РФ А.Н. Недосекова.

Таким образом, тоннельный вариант транспортного перехода р. Лена решает цели и основные задачи Федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России (2010-2015 гг.)», обеспечивая круглогодичное транспортное сообщение г. Якутска по железной дороге с сетью железных дорог и с автомобильными дорогами «Вилюй», «Лена» и «Колыма». Тоннельный вариант, по сравнению с мостовым переходом, обеспечивает более высокие темпы возведения (не зависящие от времени года), минимальные воздействия на окружающую среду, надежность и непрерывность эксплуатации в условиях перепадов температур воздуха, высоких паводков и изменения геокриологической обстановки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Компаниец, С.А. Проектирование тоннелей / С.А. Компаниец, А.К. Поправко, А.А. Богородецкий. -М.: Транспорт, 1973. - 320 с.
- 2 Маковский, В.Л. Подводное тоннелестроение / В.Л. Маковский. -М.: Транспорт, 1983. -182 с.

3 Мерзлотно-гидрогеологические условия Восточной Сибири / В.В. Шепелёв [и др.]. -Новосибирск: Наука, 1984. -192 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *мостовой переход, подводный тоннель, рамповый участок, мерзлый грунт, вечная мерзлота, морозобойное растрескивание бетонных опор моста, ледоход*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Гридасов Виктор Владимирович, генеральный директор ЗАО «Бамтоннельстрой»  
Голото Петр Евгеньевич, руководитель группы ЗАО «Бамтоннельстрой»  
Молчанов Виктор Сергеевич, канд. техн. наук, руководитель проекта ЗАО «Бамтоннельстрой»*

*Полянкин Геннадий Николаевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
Цибариус Юрий Александрович, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630004, г. Новосибирск, ул. Шамшурина, 53, ЗАО «Бамтоннельстрой»  
630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ КОРРОЗИИ АРМАТУРЫ ПО ВЕЛИЧИНЕ РАСКРЫТИЯ ПРОДОЛЬНЫХ ТРЕЩИН ЗАЩИТНОГО СЛОЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ**

**ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»**

**Ю.В. Дёмин, Н.А. Сычева, Д.С. Скотников, А.А. Запрудский, Г.П. Маслов, А.С. Герасименко**

**DETERMINING THE DEGREE OF REINFORCEMENT CORROSION ON VALUE OF DISCLOSURE OF LONGITUDINAL CRACKS PROTECTIVE LAYER OF REINFORCED CONCRETE CONTACT NETWORK  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
«Omsk state transport university»**

*Yu.V. Demin, N.A. Sycheva, D.S. Skotnikov, A.A. Zaprudskij, G.P. Maslov, A.S. Gerasimenko*

The features of the developed method for calculating the bearing capacity of reinforced concrete pillars, to take account of the real deformation of concrete and reinforcement, as well as to calculate supports with all types of reinforcement.

*Keywords: fittings, corrosion, cracks, concrete support, contact the network*

Рассмотрены особенности разработанной методики расчета несущей способности железобетонных опор, позволяющей учитывать реальные деформации бетона и арматуры, а также производить расчет опор с любыми типами армирования.

Нормальное функционирование системы энергоснабжения электрифицированных железных дорог зависит от состояния оборудования. Несущие опоры контактной сети (КС) являются ответственными нерезервируемыми элементами, в связи с чем, их надежность определяет бесперебойность и безопасность движения поездов.

Протяженность электрифицированных участков железных дорог в России превышает 43 тыс. км, на них установлено более 1,55 млн. железобетонных опор КС, из которых более 30% имеют срок службы более 40 лет. Поэтому важнейшей проблемой являются повреждения железобетонных опор КС. К основным относятся трещины в бетоне и изменение его прочности, коррозия арматуры, снижение сцепления арматуры с бетоном. Перечисленные дефекты могут привести к излому и падению опоры, которое почти неизбежно повлечет за собой обрыв проводов КС, нарушение электроснабжения и режима движения поездов на соответствующем участке железной дороги. Это и определяет важность проведения мероприятий по оценке несущей способности, повышению работоспособности и замене конструкций.

Оценка несущей способности железобетонной опоры КС представляет собой комплексный процесс оценки воздействующих на объект факторов (рисунок 1), свойств и взаимодействия материалов конструкции.

На данный момент разработано множество методов диагностирования железобетонных электросетевых конструкций [1]. Они позволяют оценить техническое состояние опоры, но не дают возможности определить ее несущую способность вследствие отсутствия показателей, необходимых для ее расчета.

Для определения несущей способности железобетонных опор необходимо учитывать следующие показатели: прогибы, наклон, повреждения бетона и арматуры, а также свойства грунта и схему нагружения опоры.

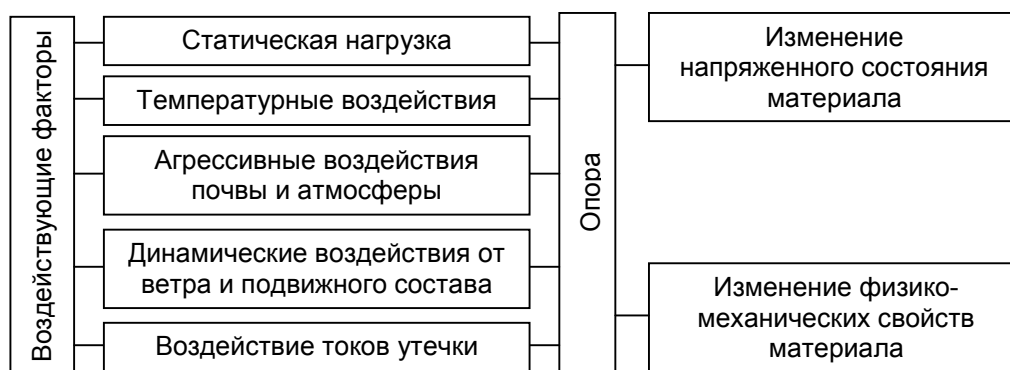


Рисунок 1 – Влияющие на состояние опор КС факторы

Точное определение степени коррозии арматуры может быть выполнено только путём извлечения достаточного количества образцов арматурных стержней с последующей лабораторной обработкой, что в условиях эксплуатации не представляется возможным [2]. В связи с этим представляют интерес косвенные методы определения величины коррозии арматуры по её внешним проявлениям.

Результаты различных исследований показывают, что объем продуктов коррозии превышает объем скорродировавшего металла в 2-2,5 раза. Это приводит к созданию давления на защитный слой бетона, образует продольные трещины (рисунок 2).

Рассмотрим разработанную методику оценки коррозионного износа арматуры на основе изменения объема поврежденного стержня.

Поскольку радиус арматурного стержня во много раз меньше радиуса опоры, то защитный слой бетона можно смоделировать защемленной с двух сторон балкой прямоугольного сечения единичной толщины, воспринимающей действие приложенной в середине сосредоточенной силы. Предположим, что трещина в защитном слое бетона образуется после его отслоения от рабочей арматуры на достаточно длинном участке развития коррозии. Отслоившаяся часть с достаточной степенью точности моделируется прямоугольной пластиной, работающей в условиях цилиндрического изгиба, в которой нормальные напряжения в направлении перпендикулярном арматуре аналогичны элементарным балочным.

Расчеты по предлагаемой методике проводятся при допущении, что зависимость между раскрытием трещины и коррозией арматуры линейна. Последовательность расчетов следующая:

1 Определяется толщина  $s$  скорродировавшего слоя металла, при которой образуется продольная трещина в защитном слое бетона, а затем в соответствии с установленной зависимостью между величиной раскрытия трещины  $x$  и  $s$ , корректируются значения длины и ширины балки.

2 На основе расчётной модели в виде полуплоскости с круговым вырезом, на контур которого действует равномерно распределенное давление (рисунок 3), определяется величина коррозионного износа арматуры, при которой начинается отслоение защитного слоя.

Экспериментальные и теоретические данные подтверждают, что точка отрыва защитного слоя происходит выше нижней точки сечения арматуры. Эта величина  $h$  выбирается в качестве высоты балки (рисунок 3).

3 Устанавливается зависимость между давлением  $p$  и толщиной скорродировавшего слоя металла и уточняется длина защемленной балки. На основе модели отслоения защитного слоя бетона, рассчитывается величина потенциальной энергии. После этого определяется величина коррозионного износа, при которой образуется трещина.

4 С учетом допущения, что объем продуктов коррозии превышает объем скорродиро-

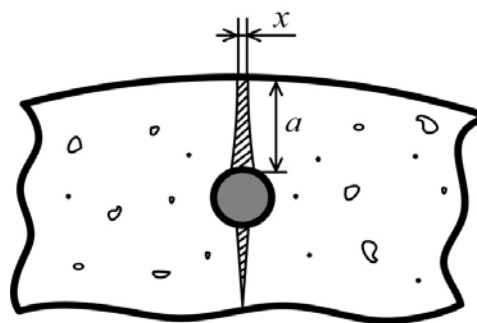


Рисунок 2 – Образование продольной трещины в бетоне под действием давления продуктов коррозии

вавшего металла в два раза, устанавливается выражение для оценки степени потери металла по сравнению с неповрежденным состоянием

$$s_c = \frac{\left[ r_s^2 + \frac{x}{8} \sqrt[3]{\frac{\pi b^2 (1+\nu)}{r_s^2}} \right]^2 - r_s^2}{2A_{s_0}}, \quad (1)$$

где  $b$  – расстояние от центра стержня до наружной поверхности бетона;  
 $r_s, A_{s_0}$  – радиус и площадь арматурного стержня соответственно;  
 $\nu$  – коэффициент Пуассона бетона.

5 Расчет прочности материалов. Для повышения достоверности расчетов прочности необходимо учитывать нелинейный характер напряжений в бетоне и арматуре при различных деформациях. При использовании деформационной расчетной модели критерием исчерпания прочности железобетонного элемента принимается условие достижения сжатым бетоном или растянутой арматурой предельных значений относительных деформаций, установленных нормативными документами.

В расчете применяются уравнения, описывающие распределение относительных деформаций в бетоне и арматуре по высоте сечения, определяемые исходя из гипотезы плоских сечений. Сечение бетона представляется кольцом с внешним и внутренним радиусами, а местоположение арматурных стержней определяется радиусом и углом.

В расчетном сечении устанавливается положение нейтральной оси, а реальное положение определяется методом итераций.

Предполагается, что разрушение опоры произойдет от разрушения бетона сжатой зоны и принимается величина относительных деформаций равная предельным деформациям бетона ( $\varepsilon'_0 = \varepsilon_{b2}$ ). Рассчитываются относительные деформации арматуры, располагаемой по высоте сечения, и определяются усилия в каждом стержне. На основе диаграммы деформирования бетона определяются равнодействующая усилий в сжатом бетоне и точка ее приложения относительно нейтральной оси сечения:

$$F'_b = \int_{A'_b} \sigma_b [\varepsilon_b(y_b)] dA'; \quad (2)$$

$$y_{rb} = \frac{\int_{\alpha}^{\pi-\alpha} \sin \varphi \cdot r_b \cdot \sigma_b [\varepsilon_b(\sin \varphi \cdot r_b)] d\varphi}{\int_{\alpha}^{\pi-\alpha} \sigma_b [\varepsilon_b(\sin \varphi \cdot r_b)] d\varphi}, \quad (3)$$

где  $A'_b$  – площадь сжатого бетона;  
 $y_b$  – высота элементарной площадки бетона;  
 $\varphi$  – центральный угол сектора сжатой зоны;  
 $\sigma_b$  – напряжение в бетоне.

При установленном положении нейтральной оси, принятом в первой итерации, проверяется условие равновесие всех сил на продольную ось элемента. Сумма внутренних усилий должна быть меньше либо равной заданной точности вычислений. Если условие не выполняется, то принимается новое положение нейтральной оси с установленным шагом. В противном случае необходимо провести проверку относительной деформации наиболее растянутой арматуры и сравнить ее с предельным значением. Если полученное значение превысит предельное, то разрушение опоры произойдет от разрыва арматуры растянутой зоны. Следовательно, в дальнейшем при расчете необходимо исходить из предельных деформаций растянутой арматуры, а не сжатого бетона ( $\varepsilon''_0 = \varepsilon_{s2}$ ) и изменить уравнение распределения деформаций. Затем методом итераций определить положение нейтральной оси для данного характера разрушения.

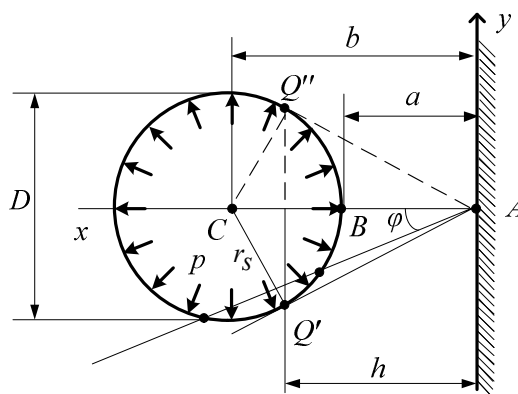


Рисунок 3 – Расчетная схема полуплоскости с круговым вырезом под давлением

6 Определяется результирующий момент, который является предельным для данного сечения. Результирующая диаграмма усилий в бетоне и арматуре по высоте сечения представлена на рисунке 4.

Для поврежденного коррозией сечения производится расчет, аналогичный описанному выше, но с учетом местоположения корродированной арматуры, степени снижения прочности и потери сечения. Оценку влияния конкретного повреждения необходимо производить по формуле

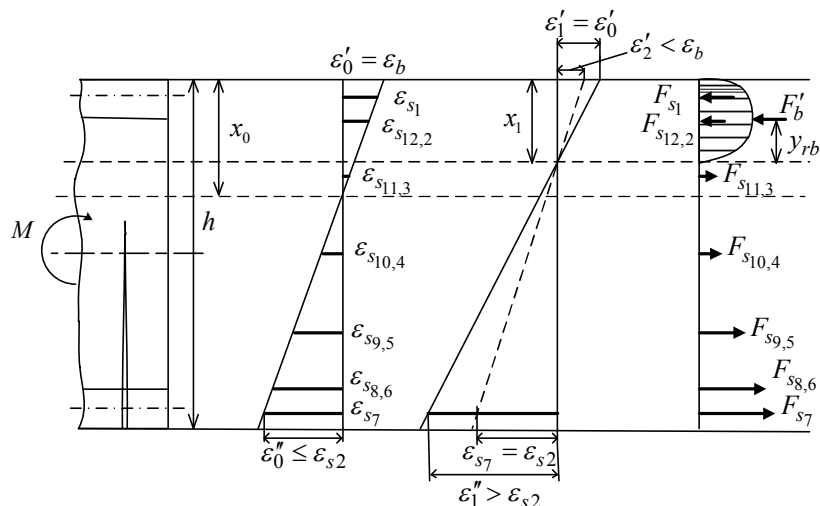


Рисунок 4 – Распределение деформаций и напряжений в бетоне и арматуре по высоте сечения

$$\Delta M = \frac{M - M'}{M} \cdot 100\% , \quad (4)$$

где  $M, M'$  – предельные изгибающие моменты для неповрежденного и поврежденного сечений соответственно.

Использование разработанной методики оценки коррозионного износа арматуры по ширине раскрытия поверхностной трещины показало, что при ширине раскрытия трещины 0,3 мм коррозионные повреждения составляют 29% от поперечного сечения стержня. Кроме того по разработанной методике производился расчет прочности стоек СП-6 и СП-8 с 12 предварительно напряженными арматурными стержнями. Результаты расчета показали, что даже при выключении из работы только одного наиболее нагруженного стержня несущая способность опоры может снизиться на 12-15%.

Выводы:

1 Выполнен анализ исследований железобетонных опор контактной, на основании которого показано, что они характеризуются повышенной деформируемостью и склонностью к трещинообразованию, недостаточной коррозионной стойкостью, приводящими к появлению дефектов, развивающихся в процессе эксплуатации под действием следующих факторов: статической нагрузки, температурных воздействий, агрессивного влияния почвы и атмосферы, динамического воздействия ветра и подвижного состава, а также токов утечки.

2 Разработана методика оценки коррозионного износа арматуры по ширине раскрытия поверхностной трещины, использование которой показало, что при ширине трещины  $0,3 \cdot 10^{-3}$  м коррозионные повреждения составляют 29% от поперечного сечения стержня.

3 Создана методика и проведен расчет остаточной несущей способности опор, на основании которого выявлено, что при коррозионном разрушении наиболее нагруженных стержней она снижается на 12-15 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Скотников, Д.С. Сравнительный анализ методов диагностики железобетонных электросетевых конструкций / Д.С. Скотников // Материалы Международной юбилейной научно-технической конференции «Обновление флота – актуальная проблема водного транспорта на современном этапе» / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2011. -Ч.1. -С. 251-253.  
 2 Запрудский, А.А. Совершенствование методик оценки несущей способности железобетонных опор контактной сети магистральных электрических железных дорог: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07: защищена 16.12.11 / Запрудский Александр Алексеевич. -Омск, 2011. -130 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** арматура, коррозия, трещины, железобетонные опоры, контактная сеть  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Дёмин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Сычева Наталья Александровна, старший преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Скотников Дмитрий Сергеевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Запрудский Александр Алексеевич, канд. техн. наук, младший научный сотрудник ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»  
 Маслов Геннадий Петрович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»  
 Герасименко Андрей Сергеевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

## ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СЕЧЕНИЯ РУСЛА РЕКИ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВОДНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Н.В. Голышев, В.М. Ботвинков, С.В. Моторин, А.В. Ботвинков

PROGRAM MODULE OF CHARACTERISTICS CALCULATION OF A CROSS-SECTION OF A RIVERBED, FOR INFORMATIONAL SYSTEM OF WATER SURVEY

«Novosibirsk state academy of water transport»

N.V. Golishev, V.M. Botvinkov, S.V. Motorin, A.V. Botvinkov

The aim of this work is development of the program module of characteristics calculation of a cross-section of a riverbed in the form of executive file which has graphic interface.

Keywords: hydraulic radius, the module flow channel of the river, a software module

Целью настоящей работы является разработка программного модуля для расчёта локальных параметров сечений русла реализованного в виде исполняемого файла, имеющего графический интерфейс.

Одной из важных составляющих анализа русловых процессов и обоснования гидротехнических работ является расчет локальных параметров сечений русла реки, в состав которых входят ширина зеркала в сечении, смоченный периметр, площадь живого сечения, средняя глубина, гидравлический радиус, модуль расхода и модуль сопротивления участков русла [1, 2]. Перечисленные параметры рассчитываются на основе данных русловой съемки.

Расчёт локальных параметров русла реки обычно производится в программных средах для математических расчетов, например, MatLab или MathCad [3, 4]. Недостатком такого подхода является то, что специалисту в предметной области необходимо самому составить программу, что требует от него достаточных знаний в программировании, кроме того файлы программ имеют низкую защищенность от произвольных ошибок и изменений [3, 5]. Последнее объясняется тем, что исполнение программ проводится в режиме интерпретации. Любой пользователь может открыть файл в среде MatLab и изменить программный код.

Целью настоящей работы является разработка программного модуля для расчета локальных параметров сечений русла реализованного в виде исполняемого файла, имеющего графический интерфейс. Во избежание несанкционированного изменения кода программы, код подвергается компиляции на язык Си, при этом создается исполняемый файл \*.exe.

**Описание алгоритма расчета локальных параметров участка русла.** Для расчета используются результаты съемок глубин в различных сечениях русла (рисунок 1а).

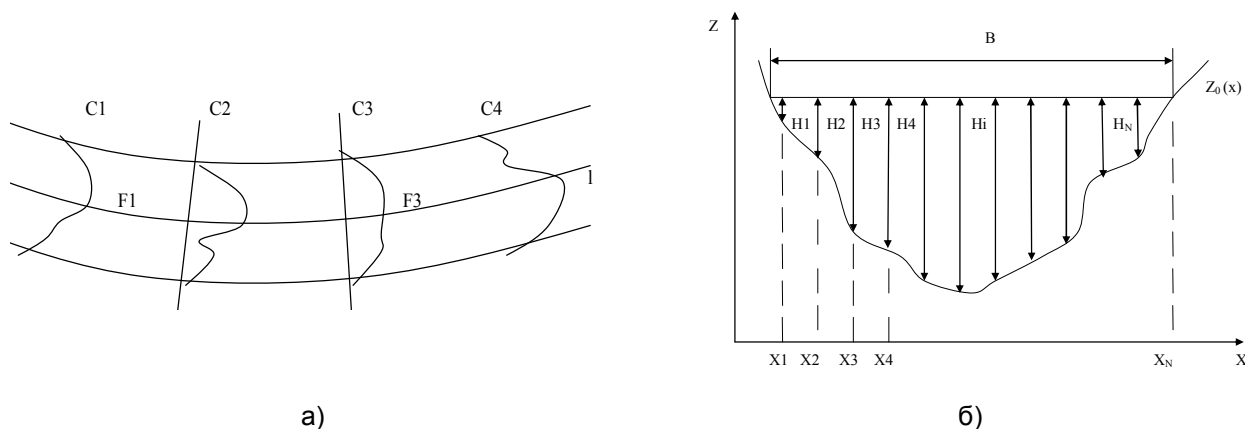


Рисунок 1 – Глубины в различных сечениях русла (а) и схема сечения (б)

Схема сечения приведена на рисунке 1б, где обозначено:

$Z_0(x)$  – линия рельефа сечения русла;

$B$  – ширина зеркала водной поверхности;

$X_i$  – координаты точек измерения глубин;

$H_i$  – измеренные глубины,  $i = 1, \dots, N$ .

Для каждого сечения вычисляются локальные параметры – площадь живого сечения

$$\omega = S - \int_B Z_0(x) dx; \quad (1)$$

$$S = B(X_N - X_1),$$

где  $Z_0(x)$  – функция, описывающая рельеф сечения, полученная в результате интерполяции. Для расчета формула (1) преобразуется к виду

$$\omega = B(X_N - X_1) - \sum_{i=1}^{N-1} Z_{0i} (X_{i+1} - X_i). \quad (2)$$

Смоченный периметр (3) вычисляется по формуле (4):

$$\chi = \int_{x_1}^{x_N} \sqrt{1 + \left(\frac{dz_0}{dx}\right)^2} dx; \quad (3)$$

$$\chi = \sum_{j=1}^N \sqrt{1 + \left[\frac{z_0(X_{j+1}) - z_0(X_j)}{X_{j+1} - X_j}\right]^2} (X_{j+1} - X_j). \quad (4)$$

Для вычисления гидравлического радиуса используется формула  $R = \omega/\chi$ .

При вычислении коэффициента Шези использована формула Маннинга [2] в виде

$$C = \frac{\sqrt[5]{R}}{n};$$

где  $n$  – коэффициент шероховатости участка русла.

Далее вычисляется модуль расхода

$$K = \omega C \sqrt{R}. \quad (5)$$

Расчеты по приведенным формулам проводятся для всех заданных сечений. В результате формируются исходные данные для расчета интегральных параметров русла.

В частности, среднего модуля расхода

$$K_{cp} = \frac{K_j + K_{j+1}}{2},$$

и модуля сопротивлений участков русла  $F_j$ . Здесь  $j = 1, \dots, M$  – количество участков русла.

Для расчета модуля сопротивления используется формула [2]

$$F_j = \frac{\Delta L_j}{K_{cp}^2} = (L_{j+1} - L_j) \sqrt{\left[\frac{1}{2}(K_{j+1} + K_j)\right]^2}. \quad (6)$$

Таким образом, в результате выполнения алгоритма рассчитываются все необходимые параметры: площади живых сечений, модули расхода и модули сопротивления участков русла. Расчет производится с шагом, заданным пользователем. Для удобства анализа результаты выводятся в виде значений нормированных к бытовому уровню. Приведенный выше алгоритм реализован в виде программного модуля для информационной системы водных изысканий [6-8].

**Модуль для расчета и анализа локальных параметров сечения русла.** Структурная схема взаимодействия разработанного модуля с базой данных (БД) информационной системы водных изысканий приведена на рисунке 2 [8].

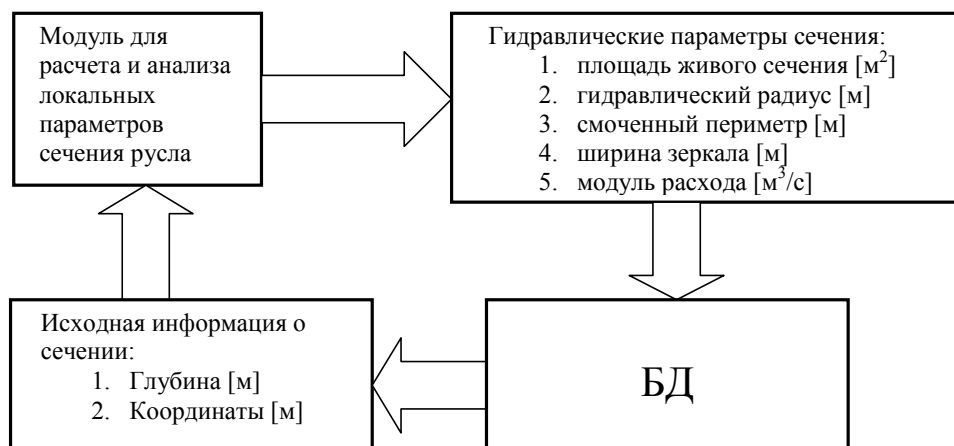


Рисунок 2 – Структурная схема модуля

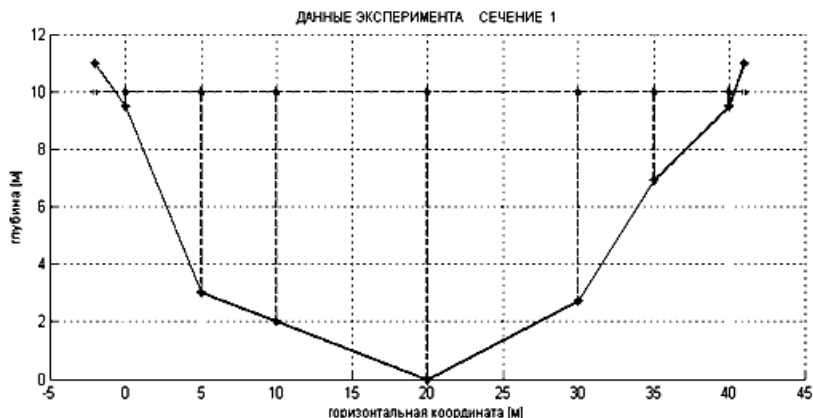
**Пример выполнения расчета.** Для иллюстрации функционирования модуля зададим вариант значений входных параметров (таблица):

- сечение ..... 1;
- номер эксперимента ..... 1;
- расчетный уровень ..... 1;
- коэффициент шероховатости ..... 0,05;
- координата ..... 1.

Таблица – Входные параметры

Номер сечения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Глубина	0	1	3	4	7	8	9	3	2	5	4	3

Данные эксперимента приведены на рисунке 3.



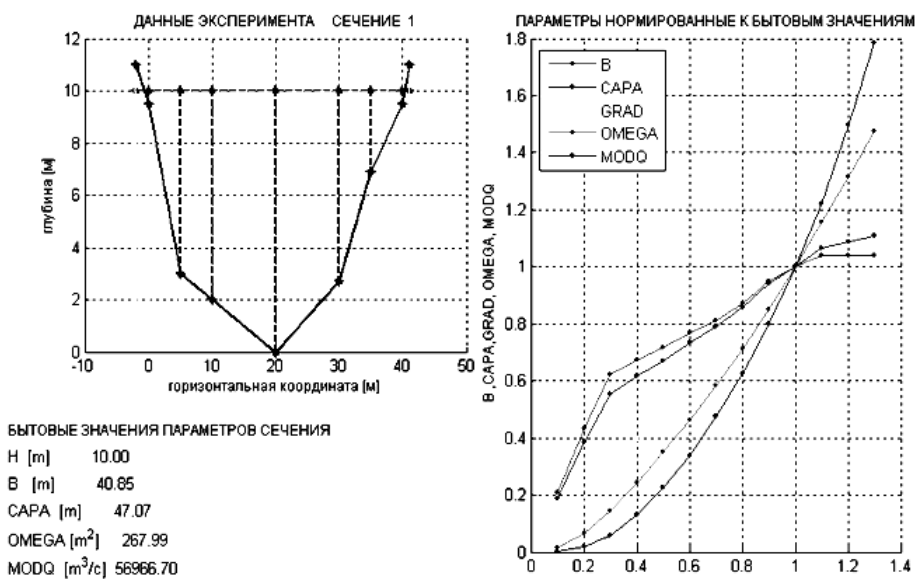
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЕРОВ  
 H EXP = [0.5 7.8 10.7 3.3 1.0 5]  
 X EXP = [0 5 10 20 30 35 40]

Рисунок 3 – Данные эксперимента в сечении 1

Далее производятся расчеты локальных параметров сечения русла (рисунок 4):

- ширина зеркала;
- смоченный периметр;
- гидравлический радиус;
- живое сечение;
- модуль расхода.

Все параметры нормированы к бытовым значениям



БЫТОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЕЧЕНИЯ  
 H [m] 10.00  
 B [m] 40.85  
 CAPA [m<sup>2</sup>] 47.07  
 OMEGA [m<sup>2</sup>] 267.99  
 MODQ [m<sup>3</sup>/с] 58966.70

Рисунок 4 – Параметры, нормированные к бытовым значениям



**Заключение.** Разработанный модуль реализован в виде исполняемого файла и позволяет корректно вычислять ширину зеркала, смоченный периметр, гидравлический радиус, площадь живого сечения, а также модули сопротивлений участков русла. Перечисленные параметры рассчитываются как для заданного значения глубины, так и в заданном диапазоне глубин с выбранным шагом. Результаты расчетов сохраняются в отдельных файлах, либо в базе данных.

Интеграция модуля в программное обеспечение системы водных изысканий повышает оперативность обработки данных гидротехнических работ и принятия адекватных инженерных решений [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Богомолов, А.И. Гидравлика: учеб. для вузов / А.И. Богомолов, К.А. Михайлов. -М.: Стройиздат, 1972. -648 с.
- 2 Гришанин, К.В. Теория руслового процесса / К.В. Гришанин. -М.: Транспорт, 1972. -216 с.
- 3 Мартынов, Н.Н. Matlab 5.x. Вычисления, визуализация, программирование / Н.Н. Мартынов, А.П. Иванов. -М.: Кудиц-образ, 2000. -336 с.
- 4 Дьяконов, В. MATLAB: учеб. курс / В. Дьяконов. -СПб.: Питер, 2001. -560 с.
- 5 Иглин, С.П. Математические расчеты на базе MATLAB / С.П. Иглин. -СПб.: БХВ-Петербург, 2005. -640 с.
- 6 Голышев, Н.В. Информационное обеспечение камеральных работ на внутренних водных путях / Н.В. Голышев, С.В. Моторин // Сиб. науч. вестн. -Новосибирск, 2007. -Вып. 10. -С. 436-441.
- 7 Голышев, Н.В. Моделирование процесса изысканий на внутренних водных путях / Н.В. Голышев, С.В. Моторин, В.М. Ботвинков // Сиб. науч. вестн. -Новосибирск, 2007. -Вып. 10. -С. 441-448.
- 8 Информационная система поддержки принятия решения диспетчером технического участка внутренних водных путей / С.В. Моторин, Н.В. Голышев, Д.Н. Голышев, Ю.О. Мещерякова, А.А. Тюменцев // Сиб. науч. вестн. -Новосибирск, 2009. - Вып. 12.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** гидравлический радиус, модуль расхода, русло реки, программный модуль  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Голышев Николай Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Ботвинков Владимир Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Моторин Сергей Викторович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Ботвинков Антон Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДОВ И ПОСТРОЕНИЯ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В МНОГОРУКАВНОМ УЧАСТКЕ РЕКИ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**Н.В. Голышев, В.М. Ботвинков, С.В. Моторин, А.В. Ботвинков**

### MODULE PROGRAM FOR THE CALCULATION OF THE DISTRIBUTION OF EXPENDITURE AND CONSTRUCTION OF A FREE SURFACE IN MANY ARMS RIVER AREA

«Novosibirsk state academy of water transport»

N.V. Golishev, V.M. Botvinkov, S.V. Motorin, A.V. Botvinkov

This article describes one of the important tasks when considering changing the course of the channel of the process and methods of improving navigation conditions on the many arms of rivers. This is a solution of the problem of the distribution of water flow on the sleeves.

*Keywords: the module flow channel of the river, a software module, arm of the rivers*

Описана одна из важных задач при рассмотрении изменения хода руслового процесса и методов улучшения судоходных условий на многорукавных участках рек. Это решение задачи о распределении расходов воды по рукавам.

Одной из важных задач при рассмотрении изменения хода руслового процесса и методов улучшения судоходных условий на многорукавных участках рек является решение задачи о распределении расходов воды по рукавам [1, 2]. Это необходимо, например, при проектировании инженерных объектов, располагающихся в русле реки.

Реализация подобных расчетов обычно производятся в математических программных средах, например, MatLab или MathCad [5-7]. Недостатком такого подхода является то, что специалисту в предметной области необходимо самому составить достаточно сложную программу, что требует от него знаний в программировании, кроме того, файлы программ имеют низкую защищенность от несанкционированного доступа по причине открытости программных кодов [6, 7]. Последнее объясняется тем, что исполнение программ проводится в

режиме интерпретации.

Целью настоящей работы является разработка программного модуля для расчета распределения расходов воды по рукавам и кривых падения уровней свободной поверхности, как в бытовом, так и в проектном состоянии реализованного в виде исполняемого файла, имеющего графический интерфейс пользователя. Во избежание несанкционированного изменения кода программы, код подвергается компиляции на язык Си при этом создается исполняемый файл \*.exe.

Описание алгоритма расчета параметров многорукавного участка реки

Исходной информацией для расчета [1-3] являются топологический рисунок многорукавного участка, количество рукавов  $R$ , количество участков в каждом рукаве  $N_r$ , модули сопротивления участков рукавов  $F_{r,j}$ , где  $r = 1, \dots, R$ -номера рукавов,  $j = 1, \dots, N_r$ -номера участков, а также объемный расход воды в основном русле  $Q$ . Пример топологии участка приведен на рисунке 1а. Топологический рисунок обычно используется для проведения съемки и отражает пространственное распределение потоков.

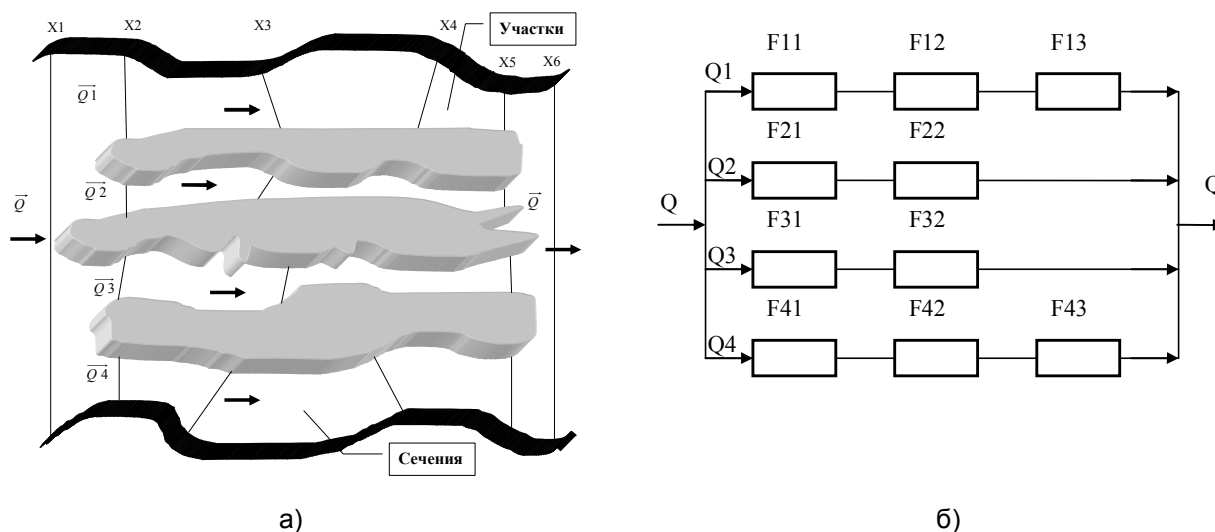


Рисунок 1 – Многорукавный участок: а)-топологическое изображение и б)-направленный граф с взвешенными ребрами

Для анализа более удобно изображение в виде направленного графа [3-5]. Эта схема, соответствующая топологической, изображена на рисунке 1б. Здесь модули сопротивлений рукавов имеют смысл весов ребер графа [5].

В общем случае количество участков в рукаве может быть неодинаковым. Принятая система обозначений видна из рисунка 1б, где  $r = 1, \dots, R$ -номера рукавов;  $F_{r,j}$ -модуль сопротивления в  $r$ -ом рукаве на  $j$ -ом участке;  $N_r$ -количество сопротивлений в рукаве с номером  $r$ . На первом этапе вычисляем модули сопротивлений каждого из рукавов

$$F_r = \sum_{j=1}^{N_r} F_{r,j} \quad (1)$$

Суммарный модуль сопротивления определяется по формуле

$$F_s = \frac{1}{\sum_{r=1}^R (\sqrt{F_r})^{-2}} \quad (2)$$

Далее по формуле Шези [2] находим падение свободной поверхности на участке русла

$$\Delta Z = Q^2 \cdot F_s.$$

На основе полученных данных определяем расходы в рукавах

$$Q_r = \sqrt{\frac{\Delta Z}{F_r}};$$

где  $\Delta Z_r$  – падение свободной поверхности в каждом рукаве

$$\Delta Z_r = Q_r^2 \cdot F_r.$$

Для оценки правильности расчета оцениваем погрешность из условия выполнения не-

равенств

$$|\Delta Z - \Delta Z_r| < \varepsilon; r = 1, \dots, R,$$

где  $\varepsilon$  – заданная точность расчета.

Для практики достаточно, чтобы  $\varepsilon \leq 0,01 \cdot \Delta Z$ .

Из уравнения неразрывности потока проверяем правильность расчета расходов  $Q_r$

$$\left| Q - \sum_{r=1}^R Q_r \right| \leq \gamma,$$

где  $\gamma$  – абсолютная погрешность расчета расхода. На практике  $\gamma = 0,01 \cdot Q$ .

Для построения кривых свободной поверхности в рукавах используем линейную интерполяцию между вычисленными значениями. С учетом изложенного и принятых обозначений формула для падения свободной поверхности в рукавах примет следующий вид

$$\Delta Z(X)_r = \sum_{r=0}^{N_r} \left[ \Delta Z_{rj} - \frac{\Delta Z_{r,j+1} - \Delta Z_{r,j}}{X_{j+1} - X_j} \right] \cdot [u(X - X_j) - u(X - X_{j+1})].$$

где  $u(X - X_j)$  – единичная функция

$$u(X - X_j) = \begin{cases} 1, & X \geq X_j; \\ 0, & X < X_j. \end{cases}$$

Таким образом, в результате работы алгоритма вычисляются необходимые величины расходов в рукавах и графики падения свободной поверхности в каждом из них.

**Структура программного модуля.** Разработанный программный модуль включается в информационную систему водных изысканий [8-10]. Структурная схема взаимодействия разработанного модуля с базой данных (БД) приведена на рисунке 2.

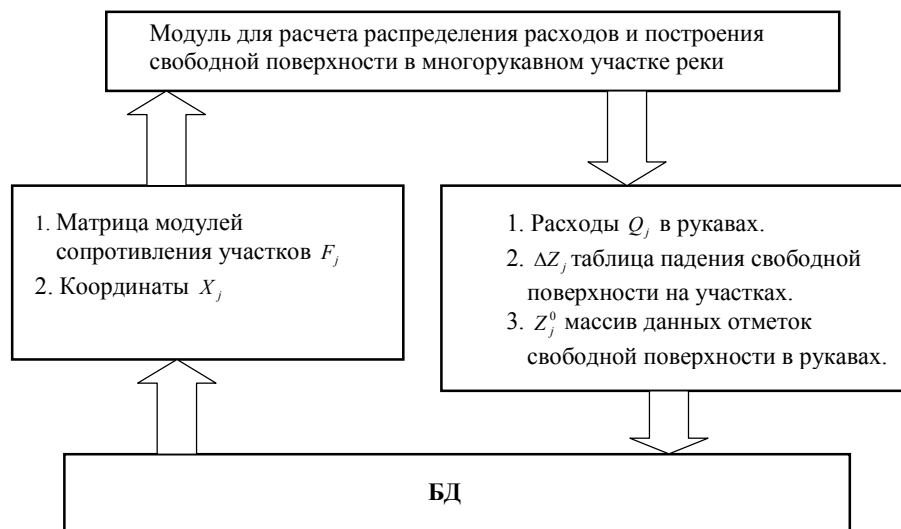


Рисунок 2 – Структура модуля

Входные параметры:

- Матрица модулей сопротивления участков  $F_j$  ;
- Координаты  $X_j$  ;

Выходные параметры:

- Расходы  $Q_j$  в рукавах;
- $\Delta Z_j$  таблица падений уровня свободной поверхности на участках;
- $Z_j^0$  массив данных отметок свободной поверхности в рукавах.

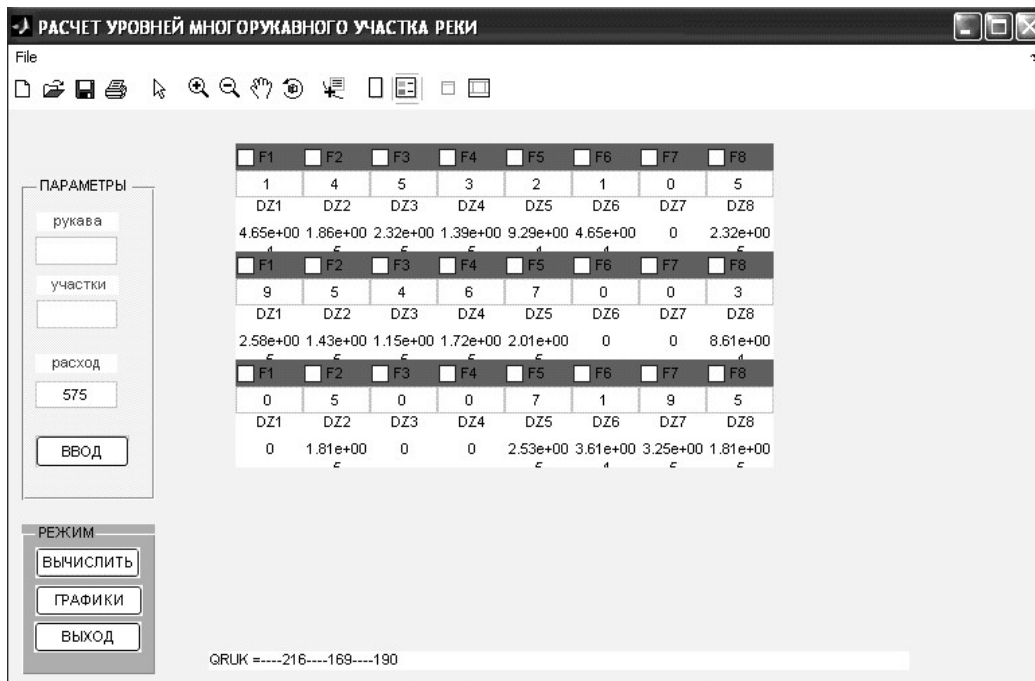
**Пример выполнения расчета.** Тестирование программного модуля проводилось в соответствии с матрицей модулей сопротивлений участков реки приведенной в таблице 1.

Матрица модулей сопротивлений участков реки задается через окно интерфейса пользователя или из базы данных. Пример ввода данных показан на рисунке 3. Расчет падения уровня свободной поверхности в виде графиков, структурированным по рукавам и участкам

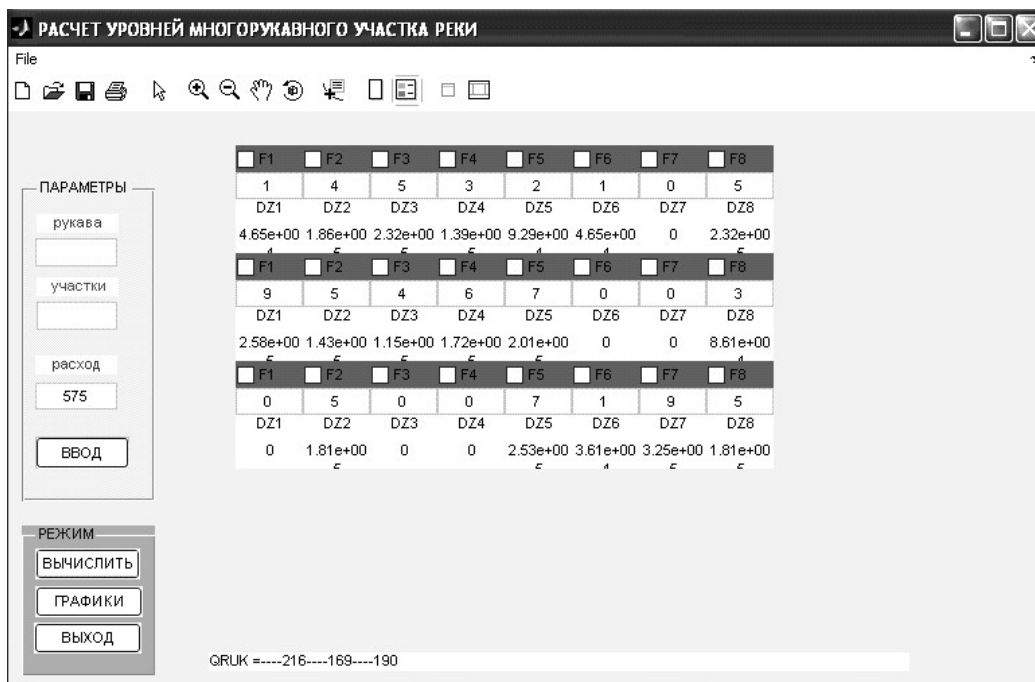
приведен на рисунке 4.

*Таблица 1 – матрицей модулей сопротивлений участков реки (при расходе в 575 м³/с)*

Рукав	Участок 1	Участок 2	Участок 3	Участок 4	Участок 5	Участок 6	Участок 7	Участок 8
Рукав №1	1	4	5	3	2	1	0	5
Рукав №2	9	5	4	6	7	0	0	3
Рукав №3	0	5	0	0	7	1	9	5



*Рисунок 3 Расчет падения уровня свободной поверхности (ввод данных)*



*Рисунок 4 – Расчет падения уровня свободной поверхности (вывод графика)*

**Заключение.** Разработанный модуль реализован в виде исполняемого файла и позволяет корректно вычислять значения модулей сопротивлений участков рукавов реки на многорукавном участке, а также распределение расходов воды по рукавам и графики падений уровня свободной поверхности в них. Результаты расчетов сохраняются в отдельных файлах, либо в базе данных.

Интеграция модуля в программное обеспечение системы водных изысканий повышает оперативность обработки данных гидротехнических работ и принятия адекватных инженерных решений [8-10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Чалов, Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т.1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел / Р.С. Чалов. -М.: Изд-во ЛКИ, 2008. -608 с.
- 2 Чернышев, Ф.М. Повышение эффективности путевых работ на многорукавных участках судоходных рек / Ф.М. Чернышев. -Новосибирск, 1973. -321 с.
- 3 Гришанин, К.В. Теория руслового процесса / К.В. Гришанин. -М.: Транспорт, 1972. -216 с.
- 4 Богомолов, А.И. Гидравлика: учеб. для вузов / А.И. Богомолов, К.А. Михайлов. -М.: Стройиздат, 1972. -648 с.
- 5 Иглин, С.П. Математические расчеты на базе MATLAB / С.П. Иглин. -СПб.: БХВ-Петербург, 2005. -640 с.
- 6 Мартынов, Н.Н. Matlab 5.x. Вычисления, визуализация, программирование / Н.Н. Мартынов, А.П. Иванов. -М.: Кудиц-образ, 2000. -336 с.
- 7 Дьяконов, В. MATLAB: учеб. курс / В. Дьяконов. -СПб.: Питер, 2001. -560 с.
- 8 Голышев, Н.В. Информационное обеспечение камеральных работ на внутренних водных путях / Н.В. Голышев, С.В. Моторин // Сиб. науч. вестн. -Новосибирск, 2007. -Вып. 10. -С. 436-441.
- 9 Голышев, Н.В. Моделирование процесса изысканий на внутренних водных путях / Н.В. Голышев, С.В. Моторин, В.М. Ботвинков // Сиб. науч. вестн. -Новосибирск, 2007. -Вып. 10. -С. 441-448.
- 10 Информационная система поддержки принятия решения диспетчером технического участка внутренних водных путей / С.В. Моторин, Н.В. Голышев, Д.Н. Голышев, Ю.О. Мещерякова, А.А. Тюменцев // Сиб. науч. вестн. -Новосибирск, 2009. -Вып. 12.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

*модуль расхода, русло реки, программный модуль, рукав рек*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

*Голышев Николай Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Ботвинков Владимир Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Моторин Сергей Викторович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Ботвинков Антон Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

*630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## ОСОБЕННОСТИ РЕЧНЫХ ПРИЧАЛОВ НА ОСНОВЕ ПЛАВСРЕДСТВ, ОТСЛУЖИВШИХ СРОК СВОЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Ю.И. Бик, М.А. Полунин, О.В. Приданова

### THE FEATURES OF RIVER QUAYS BASED ON DECOMMISSIONED VESSELS

«Novosibirsk state academy of water transport»

Yu.I. Bik, M.A. Polunin, O.V. Pridanova

Analysis of integrated studies of river quays based on decommissioned vessels identified their main features and field of application.

Keywords: river quay, decommissioned vessel

Анализ результатов комплексных исследований речных причалов, на основе отслуживших срок своей эксплуатации судов позволил определить их основные особенности и область применения.

На судоходных участках рек восточной части Российской Федерации построено большое число причальных сооружений с использованием различных конструктивных схем и материалов. Данные многочисленных исследований технического состояния причальных сооружений, полученные авторами статьи, позволяют констатировать следующее:

– причальные сооружения крупных речных портов имеют стандартные конструкции (гравитационные стенки, больверки, эстакады), построенные в соответствии с требованиями проектов и нормативных документов;

– специальные ведомственные причалы в ряде случаев построены хозспособом в отсутствии проектной документации и имеют разнообразные конструктивные решения;

– при устройстве спецпричалов различного назначения часто используются бывшие в употреблении материалы и конструкции (трубы, фасонный и листовой прокат, корпуса плавсредств).

Использование в качестве конструктивной основы причальных сооружений корпусов отслуживших свой срок плавсредств позволяет решить следующие вопросы:

– оперативное создание причалов, в том числе и в удаленных районах;

– устройство причалов без полного пакета проектно-сметной документации;

– относительно быстрая посадка корпуса плавсредства на грунт;

– обеспечение достаточно длительного срока службы причального сооружения;

- надстройка причального сооружения с помощью доступных конструкционных материалов до гидрологически обоснованной отметки верха причала;
- снижение интенсивности бокового давления грунта на основную несущую конструкцию причального сооружения;

- очистка акваторий от отслуживших свой срок плавсредств (полезная утилизация).

Следует отметить ряд особенностей, присущих причалам из отслуживших свой срок эксплуатации корпусов плавсредств:

- необходимость предварительной подготовки поверхности основания посредством проведения подводно-технических работ;

- необходимость буксировки плавсредства к месту установки;

- определенные трудности с плановой ориентацией корпуса плавсредства на месте установки;

- необходимость заполнения трюмного пространства грунтом;

- высота корпуса речного плавсредства не превышает 5 м (корпус баржи типа «Рыбнов»), что обуславливает в подавляющем большинстве случаев необходимость устройства надстройки;

- ширина корпуса плавсредства как правило в два и более раза превышает высоту, что обеспечивает запас устойчивости системы «основание-сооружение» по схемам плоского и глубинного сдвига;

- высокая пространственная жесткость корпуса плавсредства за счет элементов продольного и поперечного набора;

- корпусные элементы выполнены из качественной судовой стали; элементы имеют слои старого лакокрасочного покрытия, замедляющего процесс коррозии;

- относительно невысокие значения активного давления грунта на стенки корпуса плавсредства из-за шага поперечного набора и экранирующего эффекта палубного настила;

- относительная простота монтажа различных конструктивных элементов с использованием электродуговой сварки;

- невысокие затраты на содержание причала.

Вышеприведенные положения хорошо иллюстрируют причальные сооружения на основе плавсредств, эксплуатируемые на р. Лена, р. Малый Анюй (правый приток р. Колыма), р. Индигирка, р. Анабар.

На р. Лена вблизи Якутского речного порта на основе корпуса лихтера пр. Ф-1000 построен причал ООО СК «Якутск» с использованием проектных материалов Экспертного центра безопасности и надежности сооружений (ЭЦБНС) при кафедре Строительного производства и конструкций (СПиК) Новосибирской государственной академии водного транспорта (НГАВТ). Высотная компоновка причала приведена на рисунке 1. Положение корпуса лихтера после его посадки на грунт показано на рисунке 2.

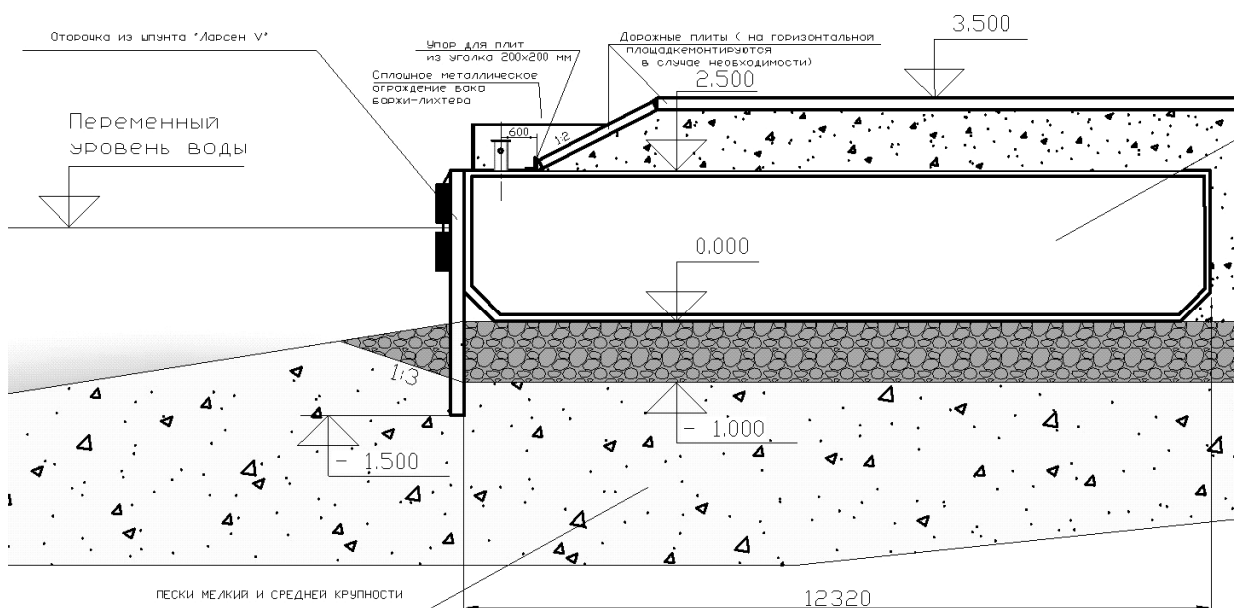


Рисунок 1 – Поперечный разрез причала ООО СК «Якутск»

На р. Малый Анюй в с. Анюйск эксплуатируется причал на основе корпуса баржи с монолитной железобетонной надстройкой. Посадка корпуса баржи на грунт выполнена под углом  $\sim 22^\circ$  к направлению течения реки, с креном и дифферентом. Верховая и низовая части причала показаны на рисунке 3 и 4.



Рисунок 2 – Посадка корпуса лихтера на грунт ООО СК «Якутск»

Причал низкой воды Белогорской нефтебазы ОАО «Саханефтегазбыт» на р. Индигирка построен на основе затопленного корпуса плавкрана КПЛ 5-30 с надстройкой из прокатного металла. В настоящее время причал не эксплуатируется в связи с тем, что непосредственно перед ним затонул плавкран КПЛ 5-30. Высотная и плановая компоновка причалов приведена на рисунке 5 и 6.



Рисунок 3 – Верховая часть причала в с. Анюйск

Для снабжения северных районов Республики Саха (Якутия) нефтепродуктами в п. Юрюнг-Хая (самый северный населенный пункт Республики Саха (Якутия)) размещены нефтебаза и причал ОАО «Алмазы Анабара». Причал представляет собой посаженный на грунт корпус лихтера пр. Ф-1000 с надстройкой из листовой стали, которая крепится к корпусу с использованием элементов из прокатной стали. Лихтер посажен на дно правой протоки р. Анабар с небольшим креном и дифферентом.



Рисунок 4 – Низовая часть причала в с. Анюйск

Высотная компоновка причала приведена на рисунке 7.

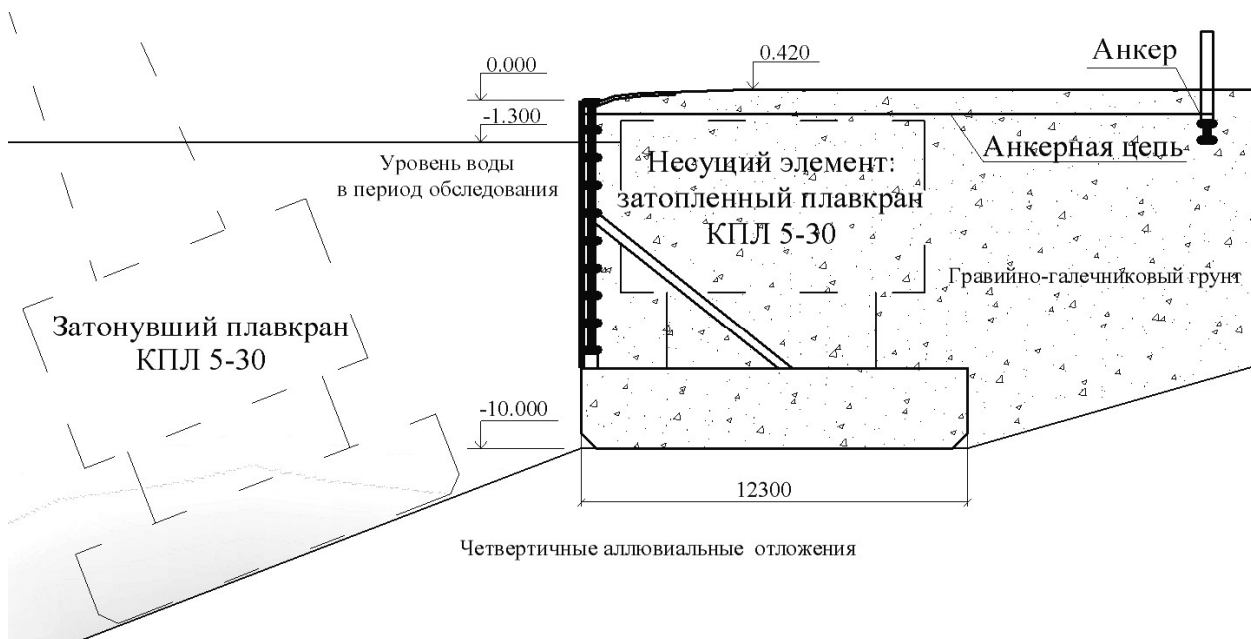


Рисунок 5 – Поперечный разрез причала низкой воды Белогорской нефтебазы на р. Индигирка

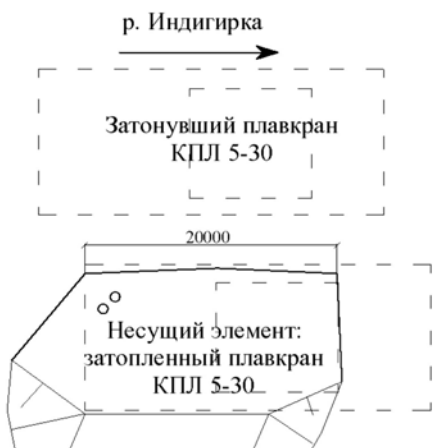


Рисунок 6 – Плановая компоновка причала низкой воды Белогорской нефтебазы

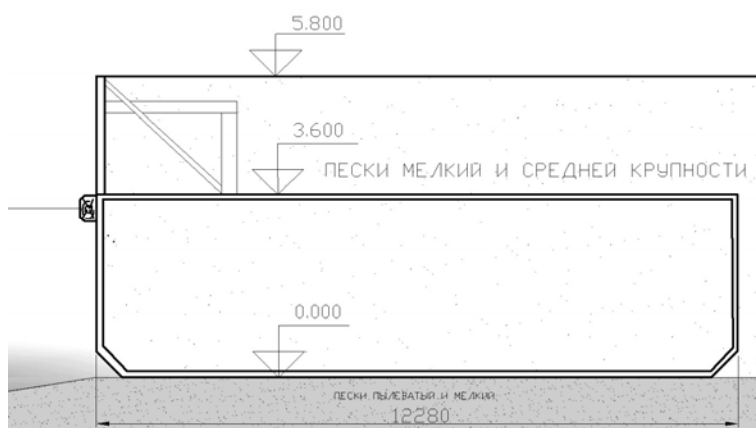


Рисунок 7 – Высотная компоновка причала в п. Юрюнг-Хая

На рисунке 8 видны дефекты посадки корпуса лихтера на грунт.

Результаты выполненных поверочных расчетов устойчивости причальных сооружений методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения показывают значение коэффициента запаса устойчивости в пределах 1,6...2,0 при нормативном коэффициенте для сооружений III класса по степени ответственности 1,15.

Условия устойчивости причального сооружения на сдвиг по поверхности контакта корпуса плавсредства с грунтом ухудшаются с увеличением наклона в сторону акватории и неполной засыпки трюмного пространства грунтом. Выравнивание основания перед посадкой корпуса плавсредства на грунт и тщательное заполнение трюмного пространства грунтом решают данную проблему.

Запас корпусной стали на коррозию зависит от её толщины на момент строительства причала, состояния лакокрасочного покрытия и уровня режима в реке. Расчеты показывают, что при средней скорости корро-



Рисунок 8 – Дефекты посадки корпуса лихтера на грунт



зии 0,05 мм в год без специальных мероприятий по антикоррозионной защите и действующих эксплуатационных нагрузках остаточный ресурс составляет ориентировочно не менее 20 лет (для элементов с толщиной не менее 3 мм).

В качестве основы причальных сооружений могут использоваться корпуса практически любых судов. При использовании нефтеналивных судов требуется предварительная их подготовка посредством пропаривания и мойки внутреннего пространства танков.

Такие особенности причалов на основе отслуживших свой срок эксплуатации плавсредств как относительно низкая стоимость, небольшие сроки строительства, наличие остаточного ресурса указывают на целесообразность применения данной технологии в современных условиях.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *речной причал, отслужившее срок своей эксплуатации судно*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Бик Юрий Игоревич, докт. техн. наук, профессор, проректор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Полунин Михаил Андреевич, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Приданова Оксана Викторовна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## **ПИОНЕРНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПУТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ НА СЕВЕРЕ**

**ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»**

**В.Я. Ткаченко**

### **PIONEERING TECHNOLOGICAL WAY IN THE CONSTRUCTION OF A RAILROAD IN THE NORTH**

**«Siberian state transport university»**

**V.Ya. Tkachenko**

With regard to the extreme conditions of the Far North is invited stage method of construction of a railway way and given to him feasibility. The method allows to hasten the time of the discovery process of movement of trains for service of mineral deposits.

*Keywords: railroad, Far North, landmark construction, pioneering technological way, effectiveness*

Применительно к экстремальным условиям Крайнего Севера предлагается этапный метод строительства железнодорожного пути и дается ему экономическое обоснование. Метод позволяет приближать время открытия технологического движения поездов для обслуживания месторождений полезных ископаемых.

В 1950-1970 гг. научно-проектные проработки сдерживались отсутствием долгосрочного прогноза развития транспортной сети страны. Теперь же мы «вооружены» стратегиями развития транспорта (и экономики) на 10 и 20 лет [2, 3]. Задача состоит в многоаспектной научно-практической их реализации и периодической корректировке. Здесь рассмотрим один из вопросов строительства железных дорог в экстремальных условиях севера.

Согласно «Стратегии-2030» фронт нового строительства все более интенсивно сдвигается на север и, тем более, на Арктический Север [2, 3]. Так, только в Ямало-Ненецком национальном округе (ЯНАО) к 2020 г. намечается построить 2123 км железных дорог, 2334 км автомобильных дорог, мост через р. Обь между городами Салехард и Лабытнанги, около 2500 км газопроводов и магистральных нефтепроводов [1]. Масштабное строительство предусматривается и в других районах азиатского севера. Внимание к северу понятно: он сейчас обеспечивает основные валютные поступления в стране. Капиталовложения здесь высокоэффективны. Каждый рубль, вложенный в нефтегазовый сектор, спустя 10 лет обеспечивает 4,7 руб. чистого дохода [1].

В чем проблема? Прежде всего в необходимости быстрого и опережающего развития транспортной инфраструктуры. Особенно это касается строительства железных дорог – наиболее трудоемких и дорогостоящих коммуникаций, требующих, к тому же, длительного времени для их устройства. По сравнению с умеренными природными условиями Сибири стоимость и продолжительность строительства здесь возрастают в 1,5-3,0 и более раз.

Дороги на севере – это в основном дороги к ресурсам. В их эксплуатации обычно имеется непродолжительный (4-7 лет) пик перевозок в период промышленного обустройства месторождений с последующим их снижением. Поэтому относительно этих дорог задача может ставиться следующим образом: обеспечить быстрое открытие движения поездов, но

не обязательно сразу на полную проектную мощность. Такой подход входит в концепцию этапного строительства и ввода, который может иметь разные организационно-технологические решения. Одним из них является сооружение железнодорожного полотна на основе максимально облегченного пионерного технологического пути.

Реальные проекты строительства железных дорог на Ямбург и на Ямале отличаются устройством большого числа временных железнодорожных обходов преградных объектов, в числе которых попадают малые мосты и трубы. Общая протяженность обходов местами достигает половины длины линии, что сдерживает темп строительства линии и увеличивает стоимость железнодорожного полотна.

В обычных условиях ускорение строительства достигается развертыванием работ на широком фронте при опережающем устройстве притрассовой автодороги. В условиях севера автодорога по существу не нужна ввиду высокой ее стоимости и очень короткого теплого периода. В истории железнодорожного строительства известны примеры, но не в северных условиях, опережающего устройства инвентарных железных дорог по «зеленым отметкам» либо по берме будущего пути.

Суть рассматриваемого здесь метода состоит в опережающем устройстве пионерного технологического пути (ПТП). Пользуясь им можно развернуть строительство железной дороги широким фронтом и, одновременно, перевозить первоочередные хозяйственные и освоенческие промышленные грузы.

Типичными бывают следующие исходные условия. Основное полотно железной дороги на участке А-Б требуется возвести и движение поездов по нему открыть (рабочее либо в режиме временной эксплуатации) в течение одного зимнего периода, то есть за 7-9 месяцев. Предварительная подготовка грунтов по трассе (карьеры, штабели) не производилась. Если исходить из действующих требований (ВСН 200-85, ВСН 203-85 и др.), то задача представляется трудно выполнимой. В подобной ситуации ПТП нужен для доставки поездной возкой кондиционных грунтов из удаленных карьеров для быстрого развертывания фронта подготовительных, земляных и других работ на этом (А-Б) и последующих участках трассы (Б-В, В-Г и др.) для создания запаса строительных материалов и конструкций на период возможного летнего перерыва движения поездов.

В подобных условиях может быть оправдана следующая организационная схема строительства железной дороги:

- осенью и в начале зимы на головном участке А-Б устраивается ПТП для кратковременного его использования;
- для ускорения и удешевления работ тело ПТП может сооружаться из местных некондиционных грунтов (из ближайших карьеров) либо из уплотненного и оплавленного снега по типу верховых автозимников;
- после сооружения земляного полотна основного пути поездное движение с ПТП переключается на главный путь;
- снимаемая с ПТП решетка перекладывается на следующие головные участки либо складировается для последующего использования по мере необходимости;
- полотно ПТП утилизируется либо с наступлением лета приводится в состояние, отвечающее требованиям охраны окружающей среды.

Следующая ситуация. Запасы кондиционных грунтов достаточны для устройства ПТП. Для возведения устойчивого основного полотна основного пути и открытия по нему движения поездов требуется как минимум два сезона (зимний и летний), то есть не менее одного года. Здесь может быть оправдана иная организационная схема строительства:

- начиная с осени устраивается сквозной ПТП;
- на головном участке А-Б широким фронтом организуется возведение основного земляного полотна и другие работы;
- по ПТП из удаленных карьеров поездной возкой доставляются недостающие объемы кондиционных грунтов;
- используя ПТП развертываются подготовительные и основные работы на следующих участках железной дороги (Б-В, В-Г, ...);
- для стабилизации ПТП в период весенне-летнего оттаивания грунтов движение по нему может временно приостанавливаться.

На участках основного пути с небольшими по километровой длине объемами работ и наличием достаточного количества кондиционных грунтов основное полотно сооружается сразу и не устраивается ПТП. Участки ПТП могут перемежаться с «нормальными» малотрудоемкими

ми участками пути.

Проектирование ПТП рекомендуется производить опираясь на прямой прогноз мощности снежного покрова и паводка. ПТП должен иметь относительно небольшие покิโลметровые объемы земляных работ – не более 16-20 тыс. м<sup>3</sup>. Эксплуатационные возможности ПТП подтверждаются многолетним опытом использования временных обходов на севере, которые используются нередко до 4-6 лет. Минимальная провозная способность ПТП оценивается более 1,0 млн. т в год [4].

Показана производственная целесообразность метода. А как оценивать его экономическую эффективность? Метод строительства на основе ПТП следует оценивать двумя основными группами составляющих совокупного результата – внутрпрограммными и внешними.

Внутрпрограммные составляющие оценивают затраты и экономию финансовых и других ресурсов преимущественно в сфере строительства и начальной эксплуатации железной дороги. Внепрограммные составляющие оценивают результаты в общехозяйственном комплексе, включая ведомство, которое будет осуществлять постоянную эксплуатацию дороги.

В сфере строительства железной дороги можно выделить две подгруппы результатов:

- затратные составляющие – преимущественно дополнительные затраты, связанные с сооружением и содержанием ПТП;

- эффектно-прибыльные составляющие, характеризующие позитивное влияние ПТП на стоимость строительно-монтажных работ и строительство железной дороги в целом.

В общехозяйственном комплексе следует, по возможности, учитывать:

- удешевление доставки грузов для обустройства месторождений природных ресурсов, строительства трубопроводов и последующего их обслуживания;

- эффект ускорения и повышения надежности добычи природных ресурсов;

- снижение негативных экологических последствий;

- снижение стоимости доставки вахтовых бригад и др.

Применительно к дефицитным ресурсам (нефть, газ и др.) оценивается эффект приближения срока и повышения надежности их промышленной добычи при более раннем устойчивом завозе грузов по ПТП. Эффект может оцениваться:

- размером дифференциальной ренты в месте потребления ресурса в доле, зависящей от наличия железной дороги;

- по стоимости ресурса в экспортном эквиваленте, если он продается за рубеж;

- решающим может оказаться фактор времени.

В таблице на примере одного из участков северной линии дана оценка метода строительства на основе ПТП. Характеристика ПТП: средняя высота насыпи 1,5 м; ширина насыпи поверху 5,5 м; покิโลметровый расход грунтов с учетом запаса на осадку и потери 18 тыс. м<sup>3</sup>; возврат материалов при ликвидации ПТП – 50%.

*Таблица – Оценка эффективности метода строительства (на 1 км железной дороги)*

Составляющие экономической оценки	Удорожание (-), эффект (+) в ценах	
	1984 г, тыс. руб.	2010 г, млн. руб.
Стоимость сооружения ПТП, в том числе:	-241	-17
– земляного полотна	-192	-13,4
– искусственных сооружений	-13	-1,0
– верхнего строения пути	-21	-1,5
– дополнительные подъездные дороги и автозимники	-15	-1,1
Снижение затрат по строительству железной дороги в целом, в том числе:	+684	+47,9
– исключение притрассовой построечной автодороги	+216	+15,1
– исключение временных обходов ж.д. мостов	+200	+14
– снижение стоимости земляного полотна основного пути при использовании ПТП*	+150	+10,5
– снижение стоимости перевозок строительных грузов*	+52	+3,6
– эффект повышения производительности труда на строительстве основной железной дороги*	+66	+4,6
Эффект в строительстве железной дороги:		
– полный	+443	+30,9
– наименьший	+174	+12,2

\*-не учитывались при оценке наименьшего эффекта при строительстве железной дороги

Расчет выполнен из предположения строительства ПТП на всем протяжении линии, в то время как необходимость в ПТП в реальности может возникнуть лишь на критических участках трассы – не более 40% ее длины.

Даже самые осторожные оценки свидетельствуют о целесообразности и потенциально высокой эффективности строительства железной дороги на основе ПТП. В таблице дана оценка только внутривидового (для строителей) результата. Однако основной эффект, обязанный приближению срока начала движению поездов, достигается в общехозяйственном комплексе. Учитывая мировые цены на углеводороды он может превышать внутривидовой эффект во много раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Траектории проектов в высоких широтах / под ред. Ю.В. Неелова [и др.]. -Новосибирск: Наука, 2011. -440 с.
- 2 Стратегия развития железнодорожного транспорта России до 2030 года // Гудок. -2007. -24-25 окт. (спец. вып.).
- 3 Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства Рос. Федерации. от 22 нояб. 2008 г. №1734-р // Собр. законодательства РФ. -2008. -№50. -Ст. 5977.
- 4 Организация и методы транспортного строительства / отв. ред. В.Я. Ткаченко. -Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. ун-та путей сообщения, 2007. -318 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *железная дорога, Крайний Север, этапное строительство, пионерный технологический путь, эффективность*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Ткаченко Виктор Яковлевич, докт. экон. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

## **ВЫБОР ПРОФИЛЯ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВ ВЛ11**

**ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения»**

**А.П. Буйносов**

### **CHOICE OF THE PROFILE OF BANDAGES OF WHEEL PAIRS ELECTRIC LOCOMOTIVES VL11**

**«Ural state university of railway transport»**

A.P. Buinosov

The technique and results of the comparative analysis of experimental is-followings of definition of the most effective profile of a surface of driving of bandages proceeding from criterion of the maximum resource before change of wheel pairs electric locomotives VL11 are stated.

*Keywords: the electric locomotive, wheel pair, bandage, profile, deterioration, technique, controllable parameters, a resource*

Изложены методика и результаты сравнительного анализа экспериментальных исследований определения наиболее эффективного профиля поверхности катания бандажей исходя из критерия максимального ресурса до смены колесных пар электровозов ВЛ11.

Ресурс колесных пар определяется периодичностью технического обслуживания ТО-4, на котором производится обточка бандажей с целью восстановления профиля поверхности катания, а также периодичности ремонтов ТР-3, на которых производится замена полностью изношенных бандажей. Срок службы при прочих равных условиях во многом зависит от профиля поверхности катания [1, 2].

В настоящее время на электровозах серии ВЛ11 приписки эксплуатационных локомотивных депо Свердловской железной дороги используются два профиля поверхности катания бандажа – профиль ГОСТ 11018-2000 и профиль ДМетИ (ЛР) с уменьшенной до 30 мм толщиной гребня.

Для определения наиболее эффективного профиля исходя из критерия максимального использования ресурса бандажей в период с декабря 2010 г. по май 2011 г. на основании собранной статистической информации об износе колесных пар был выполнен сравнительный анализ изнашивания бандажей грузовых электровозов ВЛ11, приписанных к эксплуатационному локомотивному депо Пермь-сортировочная.

Наблюдения велись за всем эксплуатируемым парком электровозов ВЛ11 в 2-х и 3-х секционном исполнении (540 секций), которые были разделены на пять групп:

– группа 1 – 81 секция электровозов, колесные пары которых были обточены по профилю ГОСТ 11018-2000 и имели начальную толщину бандажа  $90 \text{ мм} \pm 2,1 \text{ мм}$ ;

– группа 2 – 147 секции, колесные пары которых были обточены по профилю ДМетИ (ЛР) с толщиной бандажа  $90 \text{ мм} \pm 4,2 \text{ мм}$ ;

- группа 3 – 83 секции с профилем ДМетИ (ЛР) и толщиной бандажа 80 мм±3,6 мм;
- группа 4 – 101 секции с профилем ДМетИ (ЛР) и толщиной бандажа 70 мм±2,4 мм;
- группа 5 – 128 секции с профилем ДМетИ (ЛР) и толщиной бандажа 60 мм±4,4 мм.

Для более точного прогнозирования износа и определения ресурса бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 в эксплуатации в качестве контролируемых параметров были выбраны: величина нарастания проката (разность между замером и прокатом оставляемом после обточки бандажей), износ гребня (разницу между замером толщины гребня и толщиной гребня, оставляемой при обточке) и уменьшение толщины бандажа (разницу между начальной толщиной бандажа и толщиной бандажа на момент замера) от пробега, отсчет которого производится от ремонта (обточка или смена) бандажей. Контролируемые параметры бандажей измерялись с помощью прибора КИП-03 [3], относительная погрешность которого не превышает 2-5%.

В настоящее время для оценки ресурса бандажей колесных пар используется методика, основанная на аппроксимации линейной зависимостью изменений значений числовых характеристик контролируемых параметров от пробега [1, 4]

$$y(L) = A + BL, \quad (2)$$

где  $A, B$  – коэффициенты, определяемые по существующей методике [2].

Результаты расчета коэффициентов уравнений линейных регрессий контролируемых параметров при различной начальной толщине бандажа приведены в [2, 5].

Однако при линейной аппроксимации не учитывается ряд факторов: техническое состояние пути и локомотива, режим ведения поезда и другие. Применение линейной функции для всех случаев снижает точность прогноза износа бандажей колесных пар локомотивов.

Указанных недостатков лишена модель, основанная на полиномиальной функции. При этом зависимости математического ожидания  $M_y(L)$  и среднеквадратического отклонения  $\sigma_y(L)$  от пробега аппроксимируются в виде полиномов вида:

$$M_y(L) = \sum_{i=0}^m (A_i \cdot L^i); \quad \sigma_y(L) = \sum_{i=0}^n (B_i \cdot L^i), \quad (3)$$

где  $A_i, B_i$  – коэффициенты полиномов зависимостей соответственно среднего значения и среднеквадратического отклонения износа гребня бандажей колесных пар локомотивов от пробега.

Оптимальная степень полинома определяется из условия монотонного возрастания функции на исследуемом интервале, а также минимальной величины дисперсии исходной выборки от аппроксимированной зависимости. Результаты расчета коэффициентов уравнений полиномиальных регрессий контролируемых параметров для износа гребня приведены в таблице 1.

*Таблица 1 – Коэффициенты уравнений полиномиальной регрессии износа гребней бандажей колесных пар электровозов ВЛ11*

Группа	Уравнения регрессии	Коэффициент корреляции	Остаточная дисперсия, мм <sup>2</sup>
1	$M_x(L) = 0,086 + 0,096L - 0,002L^2 + 2,874 \cdot 10^{-5}L^3$	0,978	0,194
	$\sigma_x(L) = 0,130 + 0,052L - 0,001L^2 + 1,229 \cdot 10^{-5}L^3$	0,868	0,121
2	$M_x(L) = 0,157 + 0,041L - 0,337 \cdot 10^{-3}L^2 + 2,493 \cdot 10^{-6}L^3$	0,970	0,132
	$\sigma_x(L) = 0,206 + 0,037L - 0,790 \cdot 10^{-3}L^2 + 45,680 \cdot 10^{-6}L^3$	0,772	0,134
3	$M_x(L) = 0,032 + 0,099L - 0,007L^2 + 0,261 \cdot 10^{-3}L^3 - 4,363 \cdot 10^{-6}L^4 + 2,927 \cdot 10^{-8}L^5$	0,998	0,073
	$\sigma_x(L) = 0,116 + 0,049L - 1,049 \cdot 10^{-3}L^2 + 7,689 \cdot 10^{-6}L^3$	0,913	0,116
4	$M_x(L) = 0,148 + 0,059L - 1,439 \cdot 10^{-3}L^2 + 1,955 \cdot 10^{-5}L^3$	0,976	0,178
	$\sigma_x(L) = 0,167 + 0,050L - 1,231 \cdot 10^{-3}L^2 + 1,118 \cdot 10^{-5}L^3$	0,907	0,126
5	$M_x(L) = 0,027 + 0,134L - 0,010L^2 + 0,365 \cdot 10^{-3}L^3 - 5,468 \cdot 10^{-6}L^4 + 3,033 \cdot 10^{-8}L^5$	0,993	0,134
	$\sigma_x(L) = 0,174 + 0,048L - 0,001L^2 + 1,892 \cdot 10^{-5}L^3$	0,851	0,229

Сравнивая полученные данные, можно сделать вывод о том, что использование для описания изменения значений числовых характеристик, которые определяют зависимости значений контролируемых параметров от пробега полиномиальных функций, говорит о более тесной статистической связи эмпирической и аппроксимированной зависимостями. Это подтверждается меньшими значениями остаточных дисперсий и большими коэффициентами корреляции в случае использования полиномиальных зависимостей  $M_x(L)$  и  $\sigma_x(L)$ .

На основании выполненных расчетов коэффициентов линейной и полиномиальной регрессии построены эмпирические и аналитические зависимости среднего значения и среднеквадратического отклонения контролируемых параметров бандажей колесных пар электровазов от пробега. На рисунках 1 и 2 приведены зависимости среднего значения и среднеквадратического отклонения износа гребня от пробега бандажей, имеющих профиль по ГОСТ 11018-2000 и ДМетИ (ЛР) при средней начальной толщине бандажа 90 мм.

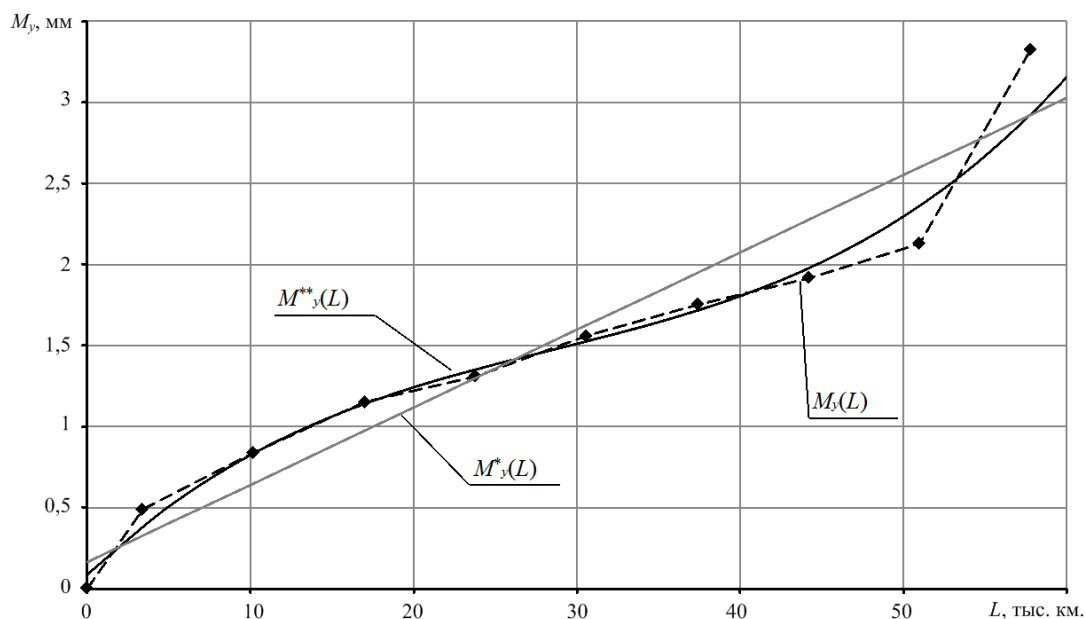


Рисунок 1 – Зависимость от пробега среднего значения износа гребня бандажей колесных пар, обточенных по профилю ГОСТ 11018-2000 при средней начальной толщине бандажа 90 мм

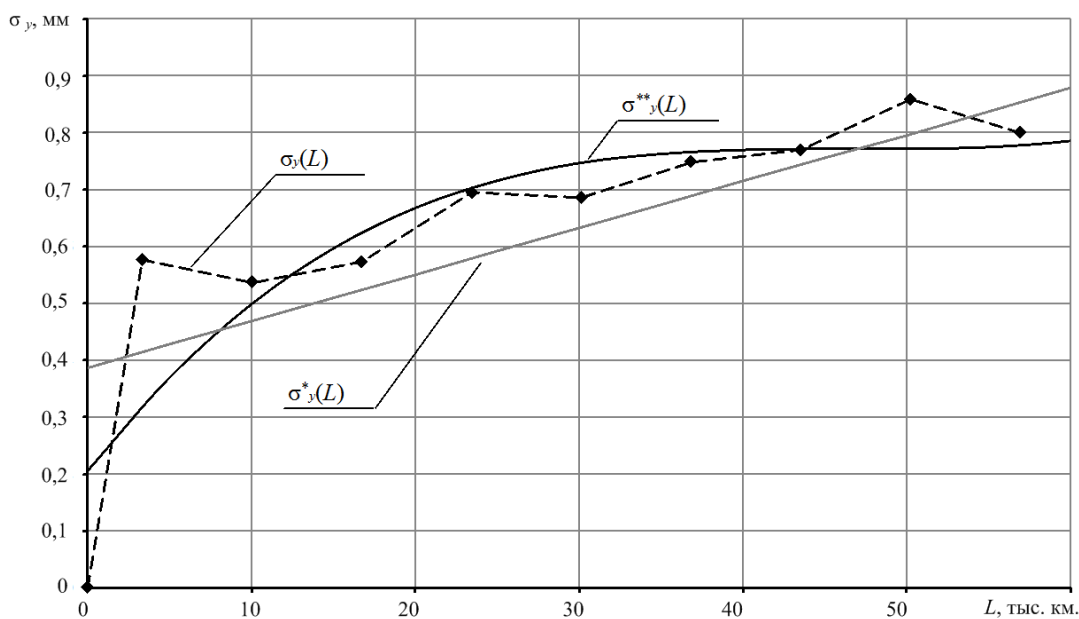


Рисунок 2 – Зависимость от пробега среднеквадратического отклонения увеличения износа гребня бандажей, обточенных по профилю ДМетИ ЛР при средней начальной толщине бандажа 90 мм

Выход контролируемых параметров за установленный допуск классифицируется как отказ работы бандажа, или предельный износ. Установленная предельная величина износа гребня для электровозов серии ВЛ11 составляет 8 мм для профиля ГОСТ 11018-2000 и 5 мм – для профиля ДМети (ЛР) с гребнем толщиной 30 мм. Для износа гребня вероятность отказа возрастает с увеличением пробега  $L$  и при заданном его значении в общем случае равна [6, 7]

$$P(L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{Y_{доп}}^{\sum_{i=0}^m (A_i \cdot L^i) + 3 \sum_{i=0}^n (B_i \cdot L^i)} \frac{1}{\sum_{i=0}^n (B_i \cdot L^i)} \exp \left[ -\frac{\left[ Y - \sum_{i=0}^m (A_i \cdot L^i) \right]^2}{2 \left[ Y - \sum_{i=0}^n (B_i \cdot L^i) \right]^2} \right] dy . \quad (4)$$

На основании выполненных расчетов строятся зависимости  $P(L)$  и по ним определяется 95%-ый ресурс колесных пар, то есть такой пробег, которому соответствует вероятность безотказной работы или вероятность отказа  $P = 1 - \gamma$  [2]. Результаты выполненных расчетов по прогнозированию ресурса бандажей приведены в таблице 2.

*Таблица 2 – Ресурс до обточки бандажей колесных пар электровозов ВЛ11, по предельной величине износа гребня*

Тип профиля	Средняя начальная толщина бандажа, мм	Тип регрессии	Ресурс бандажей, тыс. км	Средний ресурс бандажей, тыс. км
ГОСТ 11018-2000	90	линейная	80,7	78,1
		полиномиальная	75,5	
ДМети (ЛР)	90	линейная	98,2	94,5
		полиномиальная	90,8	
	80	линейная	60,7	58,0
		полиномиальная	55,3	
	70	линейная	58,2	55,5
		полиномиальная	52,7	
	60	линейная	53,3	52,2
		полиномиальная	51,6	

Из проведенных исследований исходя из критерия максимального использования ресурса бандажей можно сделать следующие выводы:

– при средней начальной толщине бандажа 90 мм при обточке восстановление конфигурации колесных пар электровозов ВЛ11 необходимо производить по профилю ДМети (ЛР) (при этом по сравнению с профилем по ГОСТ 11018-2000 ресурс до обточки увеличивается более чем на 20%);

– при средней начальной толщине бандажа 80 мм и менее до предельно допустимой величины (45 мм) обточку колесных пар необходимо производить по профилю ГОСТ 11018-2000.

Таким образом, не существует одного единственного наиболее эффективного профиля поверхности катания бандажей даже для одной серии электровозов (ВЛ11) приписанных к одному локомотивному депо и работающих в самых разных условиях на железных дорогах. Как показали выполненные исследования, использование для обточки в локомотивных депо только профиля ГОСТ 11018-2000 или ДМети (ЛР) в качестве одного единственного без учета толщины бандажей колесных пар не принесет ожидаемых результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Буйносов, А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения / А.П. Буйносов. -Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2009. -224 с.
- 2 Буйносов, А.П. Выбор профиля поверхности катания бандажей колесных пар промышленных тепловозов / А.П. Буйносов, Д.Л. Худояров, И.М. Пышный // Трансп. Урала. -2011. -№1(28). -С. 64-69.
- 3 Буйносов, А.П. Автоматизированный контроль параметров колесных пар тягового подвижного состава / А.П. Буйносов // Ж.-д. трансп. -2010. -№7. -С. 52-53.
- 4 Буйносов, А.П. Математическая модель повышения ресурса бандажей колесных пар электровозов / А.П. Буйносов, Д.Л. Худояров, В.Л. Балдин // Ремонт, восстановление, модернизация. -2011. -№4. -С. 43-48.
- 5 Горский, А.В. Анализ износа бандажей / А.В. Горский, А.П. Буйносов // Ж.-д. трансп. -1991. -№1. -С. 46-47.
- 6 Буйносов, А.П. Влияние применения триботехнического состава НИОД на ресурс колесных пар электроподвижного состава / А.П. Буйносов, К.А. Стаценко, В.А. Тихонов // Вестн. трансп. Поволжья. -Самара, 2011. -№1(25). -С. 30-35.
- 7 Буйносов, А.П. Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов в результате изменения технологии их обточки / А.П. Буйносов // Автоматизация и современные технологии. -1992. -№8. -С. 23-25.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *электровоз, колесная пара, бандаж, профиль, износ, методика, контролируемые параметры, ресурс*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Буйнов Александр Петрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «УрГУПС»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, ФГБОУ ВПО «УрГУПС»*

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ НЕДОСТАТКИ РЯЖЕВЫХ ПРИЧАЛОВ, ПРОЯВЛЯЮЩИЕСЯ ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗКАХ**

**ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»**

**Ю.И. Бик, М.А. Полунин, А.А. Шаталов**

### **DESIGN DEFECTS OF TIMBER CRIBWORK QUAYWALLS SHOWN UP UNDER INTENSIVE ICE LOADING**

**«Novosibirsk state academy of water transport»**

**Yu.I. Bik, M.A. Polunin, A.A. Shatalov**

On the basis of field observation main design defects of river timber cribwork quaywalls shown up under intensive ice loading are fixed, ways of elimination of defects are considered.

*Keywords: design defects, ice loading, timber cribwork quaywall*

На основании данных натурных исследований речных ряжевых причалов установлены проявляющиеся при интенсивных ледовых нагрузках характерные конструктивные дефекты, рассмотрены способы их устранения.

Ряжевые причальные сооружения широко представлены на реках Якутии (р. Лена, р. Колыма, р. Алдан, р. Индигирка, р. Яна и др.), Иркутской (р. Витим) и Амурской областей (р. Зея), а также Приморского края (р. Амур). Основными преимуществами данной конструкции являются: относительная простота строительства и проведения ремонтно-восстановительных работ, а также невысокая стоимость. Однако они имеют сравнительно небольшой нормативный срок эксплуатации (около 30 лет, в основном из-за загнивания древесины), плохо сопротивляются контактному воздействию льда при ледоходе и ударным ненормативным нагрузкам при швартовке судов при отсутствии отбойных устройств.

Одним из конструктивных элементов причального ряжевого сооружения является обшивка, выполняемая из досок (реже бруса) под углом к вертикали 0-45°. Данный элемент призван защищать лицевую стенку ряжа от истирающих и скалывающих внешних механических воздействий, а также выполняет некоторую эстетическую роль. Следует отметить, что в конструкции многих построенных хозспособом ряжевых причальных сооружений обшивка чаще всего отсутствует.

Для сопряжения причального сооружения с береговым откосом и относительно плавного обтекания сооружения речным потоком, а также для снижения величины ледовых нагрузок, устраивают открьлки. Верховой открьлок обычно выполняется под углом ~120-135° к линии кордона в плане, низовой открьлок, находящийся в водоворотной зоне, устраивается чаще всего под углом 90°.

Опыт авторов статьи в области обследования технического состояния ряжевых причальных сооружений, эксплуатируемых в суровых климатических условиях, ясно указывает на два основных внешних фактора, существенно влияющих на срок их службы:

- 1 процессы гниения древесины в зоне переменного уровня воды;
- 2 воздействие движущегося льда в период ледохода.

Если первый фактор является универсальным для всех ряжевых конструкций, то второй проявляется при наличии ряда условий:

- неблагоприятное плановое расположение причального сооружения по отношению к направлению стрежня речного потока (в основном, на вогнутом берегу речной излучины);
- значительная толщина льда и площадь ледяных полей, действию которых экспонирован верховой открьлок и поверхность кордона причального сооружения;
- высокая скорость речного потока в период ледохода в зоне расположения причального сооружения.

Рассмотрим конструктивные особенности некоторых конкретных причальных сооружений, удовлетворяющих вышеперечисленным условиям:

- ряжевая причальная набережная в г. Олёкминск на р. Лена;
- ряжевая причальная набережная в п. Колобовщина Бодайбинского района Иркутской



области на р. Витим;

– неэксплуатируемый ряжевый причал Нижнеколымской нефтебазы ОАО «Саханефтегазбыт» в п. Черский на р. Колыма.

Причальная набережная Олёкминского речного порта построена в 1978 году по проекту Новосибирского отделения института «ГИПРОРЕЧТРАНС» (1977 г.).

План причала с указанием расположения противопаводковой и противоледовой защиты показан на рисунке 1. Верховой открылок расположен под углом 132° к линии кордона.

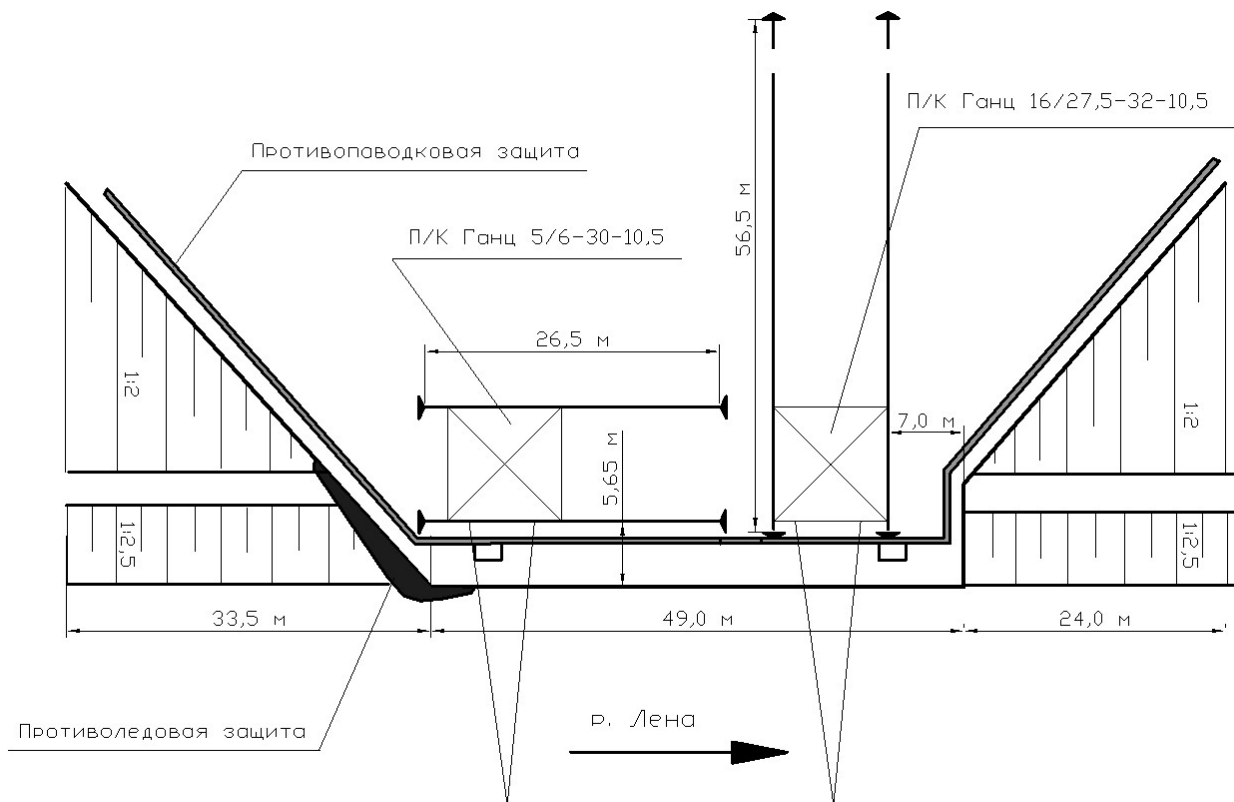


Рисунок 1 – План причальной набережной Олёкминского речного порта

Устройство противоледовой защиты верхового открылка из монолитного железобетона производилось в период 2003-2007 гг. Противоледовая защита плоскости кордона из листового металла выполнена до начала навигации 2007 г. Наибольший наклон противоледовой защиты к вертикали составляет 21°.



Рисунок 2 – Верховой открылок причала Олекминского речного порта с противоледовой защитой

Противопаводковая защита из монолитного железобетона высотой 2,20 м от уровня поверхности территории причала построена в 2005 г. после катастрофического наводнения на р. Лена.

В результате адаптации конструкции причального сооружения к внешним нагрузкам удалось стабилизировать ее техническое состояние.

Причальная набережная в п. Колобовщина построена в 1995 году (сведения о проектной и строительной организации отсутствуют).

План причала приведен на рисунке 3. Верховой открьлок расположен в плане под углом 125° к линии кордона. Верховой открьлок на всю высоту защищен от прямого действия льда прислоненным к ней корпусом баржи, наклоненным к вертикали под углом 48°.

На рисунке 4 отчетливо видна сохранившаяся обшивка в зоне защитного влияния корпуса баржи. На незащищенных участках верхового открьлка обшивка отсутствует.

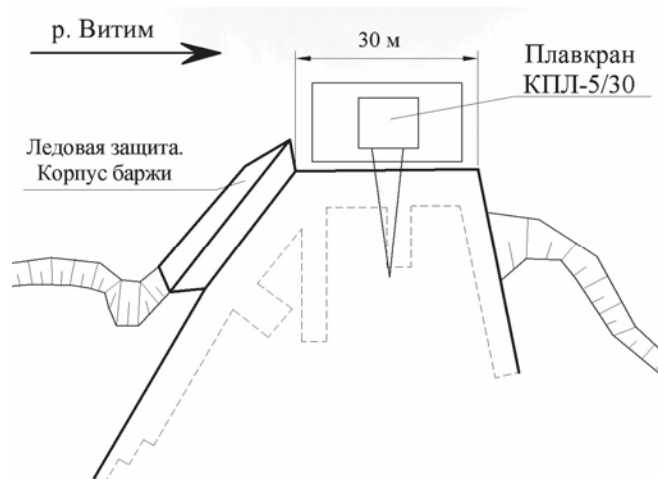


Рисунок 3 – План причала в п. Колобовщина



Рисунок 4 – Верховой открьлок причала в п. Колобовщина

Данные визуального осмотра причального сооружения в целом подтверждают наличие защитного противоледового эффекта корпуса баржи: истирание лицевых венцов ряжа усиливается в направлении низового открьлка; обшивка низового открьлка повреждена сильнее оторочки верхового открьлка.

Неэксплуатируемый причал Нижнеколымской нефтебазы представляет собой отдельно стоящее в русле реки сооружение, соединенное с берегом посредством вантового мостика (рисунок 5).

Свободная высота причального сооружения – около 8,5 м. Основным элементом противоледовой защиты верховой части ряжевой конструкции являлись стальные листы. В результате мощных ежегодных воздействий льда в период ледохода сооружение было выведено из эксплуатации. Средний многолетний уровень ледохода практически совпадает с отметкой верха причального сооружения, что способствовало напозанию льдин на поверхность причала с сильным повреждением верхних лицевых венцов ряжа.

Основанием для прекращения эксплуатации стали значительные материальные затраты на ежегодное восстановление конструкций. На фотографии четко видны сильные деформации противоледовой стальной защиты и поврежденные лицевые венцы ряжа, а также разрушенный вантовый мостик.



Рисунок 5 – Неэксплуатируемый причал Нижнеколымской нефтебазы на р. Колыма

Приведенные сведения указывают на ряд конструктивных недостатков ряжевых причалов:

- расположение верхового открылка под углом в плане к линии кордона не является гарантией безопасного транзита льда вдоль лицевой поверхности причального сооружения;
- дощатая оторочка легко разрушается движущимся льдом и не обеспечивает необходимую защиту лицевых венцов ряжа от ледовых воздействий;
- высота причального сооружения должна быть обоснованной с гидрологической точки зрения и обеспечивать основной транзит льда вдоль лицевой поверхности причального сооружения.

При проектировании и строительстве ряжевых причальных сооружений в условиях значительных ледовых воздействий с целью увеличения срока их службы и снижения эксплуатационных затрат следует выполнять следующие мероприятия:

- поверхность верхового открылка делать криволинейной для плавного сопряжения с поверхностью кордона;
- выполнять наклон поверхности верхового открылка под углом 15-30° к вертикали с целью разрушения крупных льдин на более мелкие под действием силы тяжести;
- в зоне транзита ледовых масс лицевая поверхность причального сооружения должна быть защищена стальными листами толщиной не менее 5 мм (ледовый пояс).

Возможность использования монолитного железобетона для ледовой защиты определяется на основании технико-экономического анализа.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** конструктивные дефекты, ледовые нагрузки, ряжевый причал  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Бик Юрий Игоревич, докт. техн. наук, профессор, проректор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Полунин Михаил Андреевич, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Шаталов Антон Александрович, старший преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПЕРЕНОСА СУДОВОГО ХОДА НА ВОДОХРАНИЛИЩЕ

ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

А.Н. Ситнов, Н.В. Кочкурова

THE METHODOICAL SOLUTIONS TO SUBSTANTIATION EXPEDIENCY OF TRANSFER OF A SHIP COURSE OF THE RESERVOIR «Volga state academy of water transport»  
A.N. Sitnov, N.V. Kochkurova

In article is viewed methodical questions of substantiation of transfer of a ship course on the aligning navigable rout. Also in this article is presented research results of substantiation expediency of capital dredging on the aligning rout №1K & №2K of the Kuibyshev reservoir.

Keywords: transfer, traveling works, the aligning rout, ship, a ship course, economic substantiation

Рассмотрены методические вопросы обоснования переноса судового хода на спрямляющих судовых трассах. Приведены результаты научных исследований по обоснованию целесообразности проведения капитальных дноуглубительных работ на примере спрямляющих трасс №1К и №2К Куйбышевского водохранилища.

Судовые ходы, пролегающие по акватории водохранилищ, имеют свою специфику. В границах водохранилищ обычно предусматриваются основные и дополнительные (спрямляющие) трассы. Основные трассы являются транзитными судовыми ходами, на которых обеспечиваются гарантированные габариты при предельной навигационной сработке водохранилища. Дополнительные трассы на отдельных участках спрямляют транзитный судовой ход и тем самым сокращают протяженность пути. В связи со вспомогательной ролью гарантированная глубина на них обеспечивается только при определенных уровнях воды, то есть при незначительной сработке водохранилищ. При большей сработке водохранилища отдельные дополнительные трассы для судоходства закрываются.

Условия судоходства на водохранилище принципиально отличаются от речных. На акватории водохранилища под воздействием ветра образуются волны, возникают дрейфовые течения, обуславливающие местные понижения (сгон) и повышения (нагон) уровня воды. Перечисленные факторы изменяются по длине водохранилища. Поэтому в некоторых случаях целесообразен перенос основного судового хода в границы дополнительных трасс.

При обосновании положения и габаритов судовых трасс, наряду с учетом требований безопасности судоходства, необходимо принимать во внимание требования экономичности решений.

Методические подходы к определению экономических эффектов сводятся к расчету народнохозяйственного эффекта проектных решений.

Показатели народнохозяйственной эффективности учитывают как непосредственные результаты и затраты проекта, так и «внешние» затраты и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и внешнеэкономические эффекты. При этом внешние эффекты рекомендуется учитывать в количественной форме при наличии соответствующих нормативных и методических материалов. В общем виде народнохозяйственный эффект за расчетный период  $T$  действия проекта (включает весь жизненный цикл разработки и реализации проекта вплоть до его прекращения) может быть представлен в виде

$$\mathcal{E}_{н/х} = P_T - Z_T \pm \Delta P_T, \quad (1)$$

где  $P_T$  – стоимостная оценка результатов от разработки капитальной прорези за расчетный период  $T$ , руб.;

$Z_T$  – стоимостная оценка затрат на осуществление разработки капитальной прорези за расчетный период  $T$ , руб.;

$\Delta P_T$  – сопутствующие экономические результаты от разработки капитальной прорези, руб.

Для отдельных составляющих расчета эффективности, таких как социально-экономические результаты, сопутствующие результаты используется приростный метод и в расчете учитывается разность стоимостных показателей со знаком «+» или «-».

В проектных вариантах разработки капитальной прорези результаты мероприятия выражаются в виде улучшения судоходного состояния рассматриваемого участка. Стоимостная оценка результатов от эксплуатации прорези выступает в форме экономии затрат по содержанию навигационной обстановки (навигационным знакам)  $\mathcal{E}_{но}$  и экономии затрат на обслуживание участка  $\mathcal{E}_{обсл}$ , экономии затрат по флоту при улучшении судоходного состояния на рассматриваемом участке  $\Delta \mathcal{E}_{фл}$ . Стоимостная оценка затрат – в форме приращения затрат на проектные работы (НИОКР)  $\Delta K_{НИОКР}$  и разработку прорези  $\Delta K_{пр}$ .

Стоимостная оценка сопутствующих результатов проявляется в снижении расходов от аварийности судов на рассматриваемом участке  $\Delta Z_{ав}$ , в уменьшении вредного воздействия на окружающую среду при сокращении длины рассматриваемого участка  $\Delta Z_{ос}$ . В связи с проблемным характером определения оценок  $\Delta Z_{ав}$ ,  $\Delta Z_{ос}$  они в расчет не принимаются. Кроме того, сопутствующие результаты могут выступать в виде получения дополнительных доходов (прибыли) от реализации части извлекаемого со дна грунта при его соответствующем качестве.

Экономический эффект проектных вариантов улучшения условий судоходства определяется показателями: чистый дисконтированный доход (интегральный эффект) (ЧДД), индекс доходности, срок окупаемости инвестиций  $T_{ок}$ , которые рассчитываются по «Методическим рекомендациям по оценке эффективности инвестиционных проектов».

Приведенная методика была опробована на примере одного из участков реки Камы. Было выполнено расчетное обоснование целесообразности проведения капитальных дноуглубительных работ на спрямляющих трассах №1К и №2К Куйбышевского водохранилища.

Существующий основной судовой ход в устье реки Камы (1385-1429 км) представляет сложность для прохождения судов, в том числе из-за своей извилистости. Спрямляющие судовые ходы № 1К и № 2К Куйбышевского водохранилища в современных условиях могут быть использованы для прохождения судов только при определенных уровнях воды. При сработке водохранилища ниже 50 м (для трассы №1К) и 51,5 м (для трассы №2К) дополнительные судовые ходы закрываются, и судоходство осуществляется только по основному судовому ходу. Таким образом, увеличение гарантированных габаритов пути на этих ходах позволит использовать их для прохождения судов при всех расчетных уровнях воды, сократить время прохождения судами данного участка р. Кама за счет уменьшения длины судового хода на 19 км, а также обеспечить улучшение условий для безопасного судоходства.

По Куйбышевскому водохранилищу в границах судоходных трасс №1К и №2К проходит большое количество самоходных сухогрузных судов и составов, танкеров и наливных составов, толкачей и буксиров, а также пассажирских судов. Общее количество судов (составов) за принятый расчетный 2008 г, прошедших участок составило 4680, из них 2610 составов, 1377 самоходных, 393 пассажирских судна. Суда проходят участок вверх и вниз по основному и дополнительным судовым ходам с различной осадкой, груженные и порожнем, перевозят разнообразные грузы, основная доля которых приходится на нерудные строительные материалы и наливные грузы.

Поскольку по конкретному судну (составу) решить вопрос о маршруте его прохождения и возможной экономии расходов при улучшении судоходного состояния участка невозможно, то были использованы средние параметры по судопотоку. Для этого по данным дислокации все грузовые самоходные и пассажирские суда, а также составы распределены по группам в зависимости от осадки (от минимальной до максимальной) с шагом 10 см. Но и в этом случае, несмотря на некоторое укрупнение параметров, расчетный судопоток очень большой. Нами было произведено дальнейшее его агрегирование в группы по осадке с шагом 0,5 м. Для этого в каждой группе с десятисантиметровым шагом по осадке выбирались наиболее многочисленные типы (проекты) судов (составов) и им присваивался статус «базовых». Характеристики базового судна присваивались всем судам в группе с шагом по осадке 10 см.

Точных данных по разделению всех судов, идущих по дополнительным или основному ходам нет, поэтому нами были разработаны подходы для их определения на основе использования кривой обеспеченности уровней воды и данных о гидрологическом режиме водохранилища.

Количество судов агрегированной  $j$ -ой группы  $N_j^{осч}$ , проходящих по основному судовому ходу в створах границ дополнительных судовых ходов №1К и №2К в зависимости от обеспеченности уровня воды определено по следующему выражению

$$N_j^{осч} = N_{j1}^{осч} + N_{j2}^{осч}, \quad (2)$$

где  $N_{j1}^{осч}$  – количество судов  $j$ -ой группы, проходящих по основному судовому ходу после закрытия дополнительного судового хода при снижении уровней воды ниже уровня, когда дополнительный судовый ход закрывается;

$N_{j2}^{осч}$  – количество судов  $j$ -ой группы, проходящих по основному судовому ходу в период стояния уровней воды ниже граничных уровней, необходимых для прохождения судами  $j$ -ой группы дополнительного судового хода, но выше уровня его закрытия.

Составляющие выражения (2) формализуются в виде

$$\begin{aligned} N_{j1}^{осч} &= \left(1 - \frac{P_{закр}}{100}\right) N_j^{общ} > 0, \quad \text{при } P_{закр} \leq P \leq 100; \\ N_{j2}^{осч} &= \left(\frac{P_{закр} - P_{ерj}}{100}\right) N_j^{общ} \geq 0, \quad \text{при } P_{ерj} \leq P < P_{закр}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $N_j^{общ}$  – общее количество судов в  $j$ -ой группе;

$P$  – обеспеченность рабочего уровня воды на участке, %;

$P_{закр}$  – обеспеченность уровня воды, при котором происходит закрытие рассматриваемого дополнительного судового хода, %;

$P_{эpj}$  – обеспеченность граничного уровня воды, необходимого для прохождения судами  $j$ -ой группы дополнительного судового хода, %.

Для каждой агрегированной  $j$ -ой группы судов обеспеченность граничного уровня воды  $P_{эpj}$  (3) определяется также по кривой обеспеченности уровней воды по опорному гидропосту при соответствующих граничных уровнях воды  $H_{эpj}$ . Для этого находится средняя по  $j$ -ой группе судов (составов) расчетная глубина

$$\bar{T}_{pj} = \Delta \bar{T}_{ocj} + \Delta T_{\partial nj} + \Delta \bar{T}_{\partial j}, \quad (4)$$

где  $\bar{T}_{ocj}$  – средняя осадка по  $j$ -ой группе судов (составов), м;

$\Delta T_{\partial nj}$  – дополнительный запас воды под днищем для  $j$ -ой группы судов, м;

$\Delta \bar{T}_{\partial j}$  – средний по  $j$ -ой группе запас глубины под днищем судна (состава) на дифферент, м.

Отметки граничных уровней воды  $H_{эpj}$ , при которых суда (составы)  $j$ -ой группы могут проходить по дополнительным судовым ходам №1К и №2К, определяются по формуле

$$H_{эpj} = Z_{\partial n}^{\max} + \bar{T}_{pj}, \quad (5)$$

где  $Z_{\partial n}^{\max}$  – максимальная отметка дна на дополнительном судовом ходу, м.

Для каждой агрегированной  $j$ -ой группы (по осадке с шагом 0,5 м) производились расчеты средних характеристик и параметров судов: себестоимость содержания в ходу, осадка, скорость движения, длина.

Согласно этим подходам были получены параметры и характеристики судопотока, которые использованы при расчете годовой экономии по флоту.

При обосновании экономической целесообразности переноса судового хода, кроме годовой экономии по флоту, определяющейся в экономии времени при прохождении судов и составов по укороченной судоходной трассе в границах спрямляющих судовых ходов №1К и №2К вместо движения по более длинному современному основному судовому ходу, определялся экономический эффект за счет сокращения знаков навигационного оборудования судового хода. При этом экономия образуется из-за отсутствия оснащения навигационными знаками и их обслуживания на дополнительных судовых ходах №1К и №2К. Расчет затрат на содержание навигационного оборудования включает расчет стоимости содержания самих знаков и стоимости обслуживания знаков. При расчете экономии по навигационному оборудованию предполагается, что знаки на дополнительных судовых ходах за период разработки прорези находятся в ожидании их последующей установки на новой трассе с началом ее эксплуатации, а знаки на существующем судовом ходу после разработки капитальной прорези используются в других местах.

Расчет единовременных затрат на разработку прорези и транспортировку грунта производился с распределением их по годам работы пропорционально времени использования технических средств. Результаты расчета показателей экономической эффективности по проектным вариантам отражены на рисунке 1 и 2.

Выполненные исследования показали, что перенос судового хода может быть реализован, с экономической точки зрения, лишь в случае получения дополнительного выигрыша от продажи извлекаемого при дноуглубительных работах песка потребителям. Экономия от содержания и обслуживания навигационной обстановки, а также от сокращения расходов по флоту при прохождении рассматриваемого участка не компенсируют единовременные затраты на проектные и дноуглубительные работы не только в расчетном периоде, но и далеко за его пределами. При подтверждении геолого-разведочными изысканиями залегания пригодных к продаже качественных грунтов покупателям, проектный вариант с отметкой проектного уровня 49,0 м БС может быть реализован при хороших экономических показателях, обеспечивая интегральный эффект в размере 29,6 млн. руб. Срок окупаемости инвестиций при этом составит 11,6 лет. Кроме того, спрямлением судового хода достигается повышение надежности и безопасности функционирования водного транспорта на рассматри-

ваемом участке.

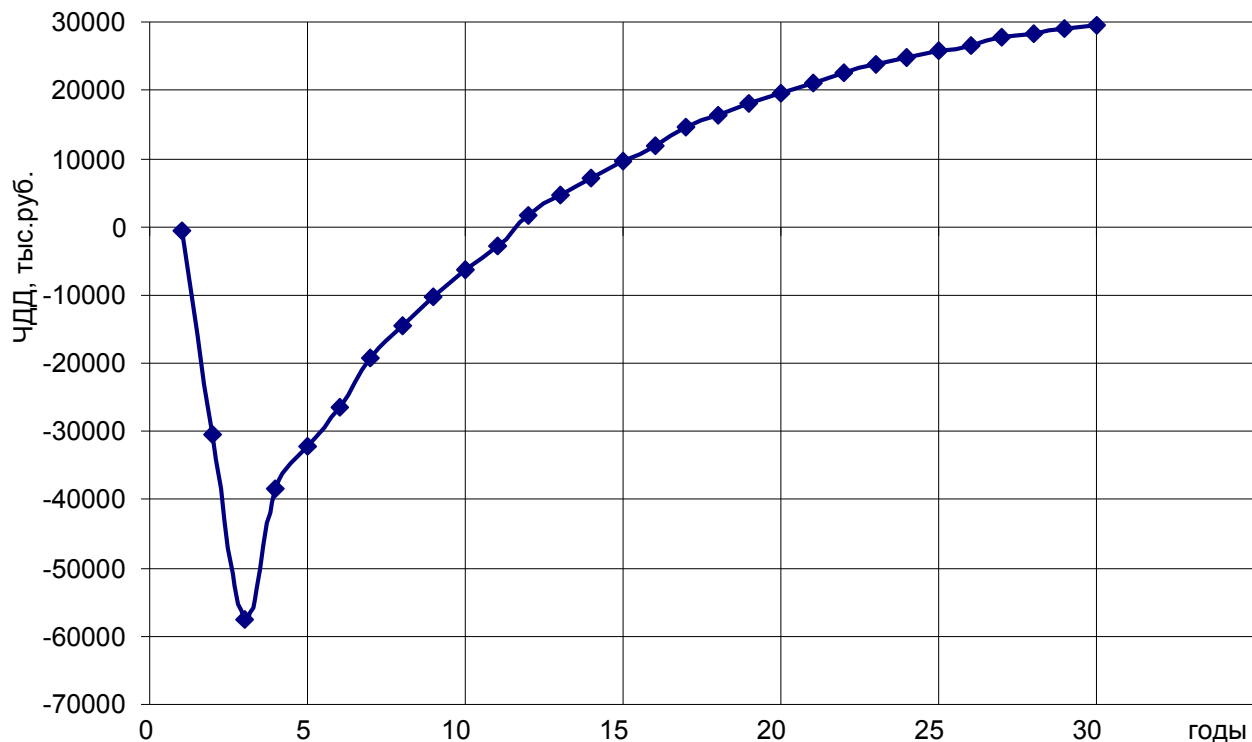


Рисунок 1 – Изменение ЧДД по годам расчетного периода в первом проектом варианте (ПУВ=49,0 м БС)

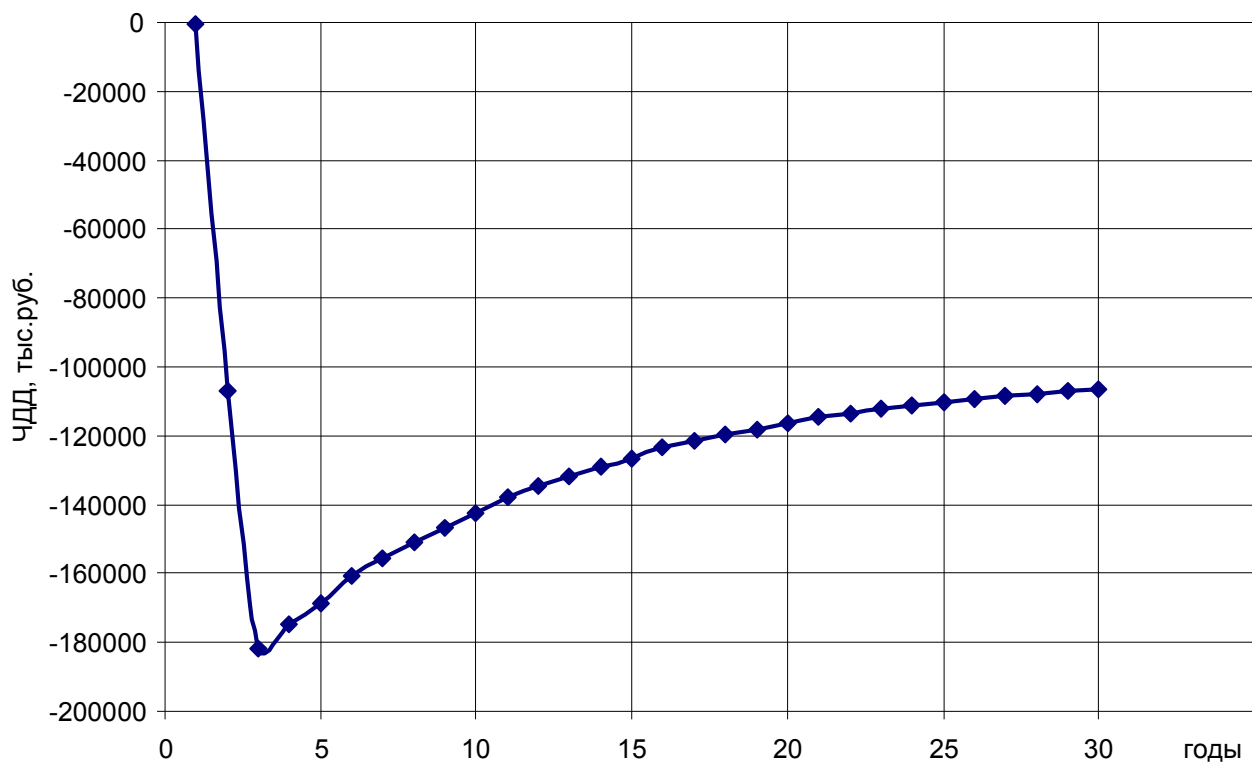


Рисунок 2 – Изменение ЧДД по годам расчетного периода во втором проектом варианте (ПУВ=50,0 м БС)

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: перенос, путевые работы, спрямляющая трасса, судно, судовой ход, экономическое обоснование

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Ситнов Александр Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
Кочурова Наталия Викторовна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603950, г. Н. Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ЗАГРУЖЕНИЯ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Ю.В. Дёмин, Н.А. Сычева, Д.С. Скотников, А.А. Запрудский, Г.П. Маслов,  
А.С. Герасименко

DETERMINATION OF THE RIGIDITY OF REINFORCED CONCRETE, THE CONTACT NETWORK AT VARIOUS STAGES OF LOADING

«Novosibirsk state academy of water transport»  
«Omsk state transport university»

Yu.V. Demin, N.A. Sycheva, D.S. Skotnikov, A.A. Zaprudskij, G.P. Maslov, A.S. Gerasimenko

The procedure of definition of rigidity of ferro-concrete pillars of a contact network at various stages of loading is considered, allowing to calculate deflections of pillars for definition of the additional bending moments considered at definition of loads on pillars.

Keywords: concrete support, contact the network, rigidity, uploading

Рассмотрена методика определения жесткости железобетонных опор контактной сети на различных стадиях загрузки, позволяющая рассчитать прогибы опор для определения дополнительных изгибающих моментов, учитываемых при определении нагрузок на опоры.

Статический расчет железобетонных опор, так же как и опор из других материалов, выполняется в соответствии с общими положениями строительной механики. В то же время железобетон как строительный материал имеет свойства, которые должны дополнительно учитываться при расчете, иначе погрешность может достигнуть недопустимых значений [1].

Первой особенностью железобетонных опор по сравнению с металлическими является большая гибкость, обусловленная меньшими поперечными размерами. В связи с этим, усилия, создаваемые в стойке вертикальными нагрузками при ее отклонении от вертикального положения в результате изгиба и поворота в грунте, обязательно должны быть учтены. Вторая особенность – зависимость жесткости железобетонного элемента от величины действующего усилия, которая проявляется особенно сильно при усилиях, превышающих трещиностойкость элемента. Третья особенность – зависимость физических параметров железобетонного элемента (жесткость, ширина раскрытия трещин, прочность) от характера приложенной нагрузки (кратковременная, длительно действующая, постоянная).

Из вышеуказанных особенностей свойств железобетонных опор следует специфичность расчета жесткости конструкций, которая в соответствии с рассматриваемой методикой представляет собой следующую последовательность действий:

1 Расчет изгибающего момента относительно нужного расчетного сечения по следующему выражению

$$M = \sum_{i=1}^{n=8} M_i, \quad (1)$$

где  $M_1$  – момент от веса подвески с гололедом;

$M_2$  – момент от давления ветра на провода контактной подвески;

$M_3$  – момент от излома на кривой проводов контактной подвески;

$M_4$  – момент от излома проводов подвески при их отводах на анкерровку;

$M_5$  – момент от веса усиливающих или других проводов;

$M_6$  – момент от давления ветра на усиливающие или другие провода;

$M_7$  – момент от излома на кривой усиливающих или других проводов;

$M_8$  – момент от зигзагов контактных проводов.

Из выражения (1) видно, что определение изгибающего момента представляет собой расчет многофакторной модели. Для упрощения процесса определения нагрузок на опорные конструкции контактной сети предполагается использование программного обеспечения «РНС».

2 Оценка напряженно-деформированных состояний. По высоте опоры на одном уровне



загружения имеют место три стадии напряженно-деформированного состояния (рисунок 1), характеризующие сопротивление железобетонного элемента, работающего без трещин, с трещинами, а также наступление в сечении предельного состояния по прочности (разрушения). Изменение изгибной жесткости  $D$  по длине опоры, работающей с трещинами, схематично показано на рисунке (см. рисунок 1).

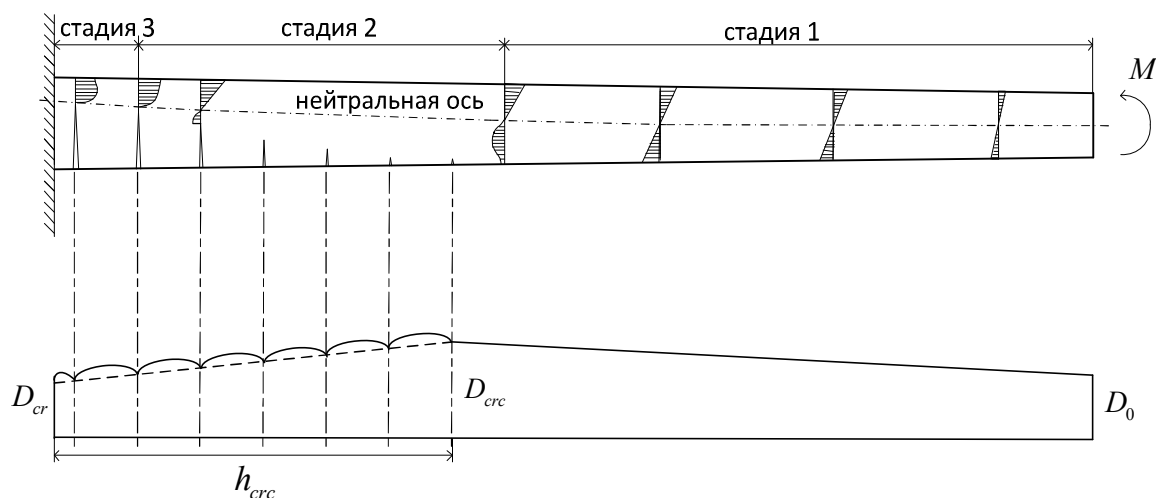


Рисунок 1 – Изменение стадий напряженно-деформированного состояния и распределение изгибных жесткостей по длине опоры с трещинами

В результате образования трещин в сечении железобетонного элемента происходит перераспределение напряжений в растянутой арматуре, что приводит к возрастанию кривизны, изменению жесткости элемента на участке между трещинами. В расчете принимается усреднение жесткости сечений на участке между трещинами и жесткости в сечениях, проходящих через трещину.

После образования первой трещины на высоте  $h_{crc}$  происходит снижение жесткости до величины  $D_{cr}$ , соответствующей наименьшей жесткости в момент разрушения опоры (рисунок 1).

3 Определение момента трещинообразования  $M_{crc}$  производится по методике расчета усилий в сечении [2]. Для определения закона изменения жесткости на участке с трещинами необходимо найти жесткость сечения с наиболее удаленной от уровня защемления трещиной. Поэтому следует произвести расчет сечения, учитывая работу растянутого бетона, чтобы определить момент, при котором бетон достигает предельных деформаций при растяжении, то есть  $\varepsilon = \varepsilon_{bt2}$ , (рисунок 2).

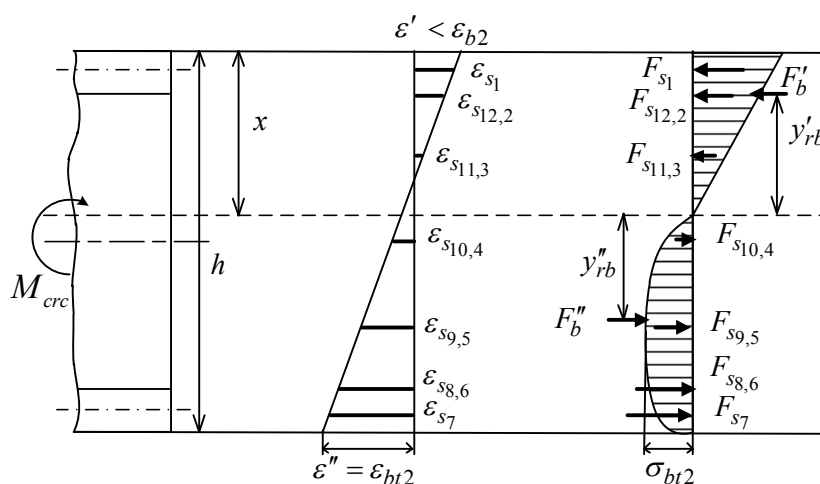


Рисунок 2 – Распределение усилий и деформаций в сечении в состоянии, предшествующем образованию трещины

Аналогично производится расчет еще одного сечения в зоне  $h_{crc}$  (см. рисунок 2). Зная моменты трещинообразования двух сечений, можно найти момент трещинообразования в нужном сечении согласно расчетной эпюре изгибающих моментов, а, следовательно, точку, в которой происходит излом графика жесткости.

4 Определение жесткости опоры на уровне заделки находится через площадь поперечного сечения бетона, оставшегося в работе. Она рассчитывается как сумма площадей бетона сжатой зоны и бетона растянутой зоны высотой  $x'$ , ограниченной нейтральной осью с

одной стороны и трещиной – с другой. Момент инерции бетонного сечения с трещиной предлагается определять по формуле

$$I_b(h) = \left\{ \arcsin \left[ \sin \left( \frac{\pi}{2} - \varphi \right) + (1 + \cos \varphi) \frac{\varepsilon_{bt}}{\varepsilon_s} \right] - \frac{\pi - \varphi}{h_{crc}} h \right\} \frac{D(h)^4 - d(h)^4}{64}, \quad (2)$$

где  $D, d$  – внешний и внутренний диаметры опоры соответственно;  
 $\varepsilon_s$  – деформации наиболее растянутой арматуры рассматриваемого сечения;  
 $\varepsilon_{bt}$  – предельные деформации бетона на растяжение;  
 $\varphi$  – центральный угол сектора сжатой зоны.

Так как принятие усредненной жесткости по высоте опоры может привести к погрешностям в расчетах, необходимо учитывать изменение жесткости по высоте опоры согласно изменению геометрических характеристик сечения.

На графиках (рисунок 3а) представлено три варианта распределения жесткости: трехступенчатое, переменной жесткости по высоте опоры без учета трещин и с учетом трещин. Прогибы опоры при использовании различных расчетных моделей жесткости в зависимости от приложенной силы представлены на рисунке 3а. Как видно из представленных графиков (см. рисунок 3а) использование трехступенчатого варианта завышает прогиб по сравнению с вариантом 2 на 3%. Но применение варианта без учета трещин неприемлемо, так как занижает максимальный прогиб до 12%. На рисунке 3б приведены графики изменения жесткости по длине стоек СКУ и ЖБК равной мощности.

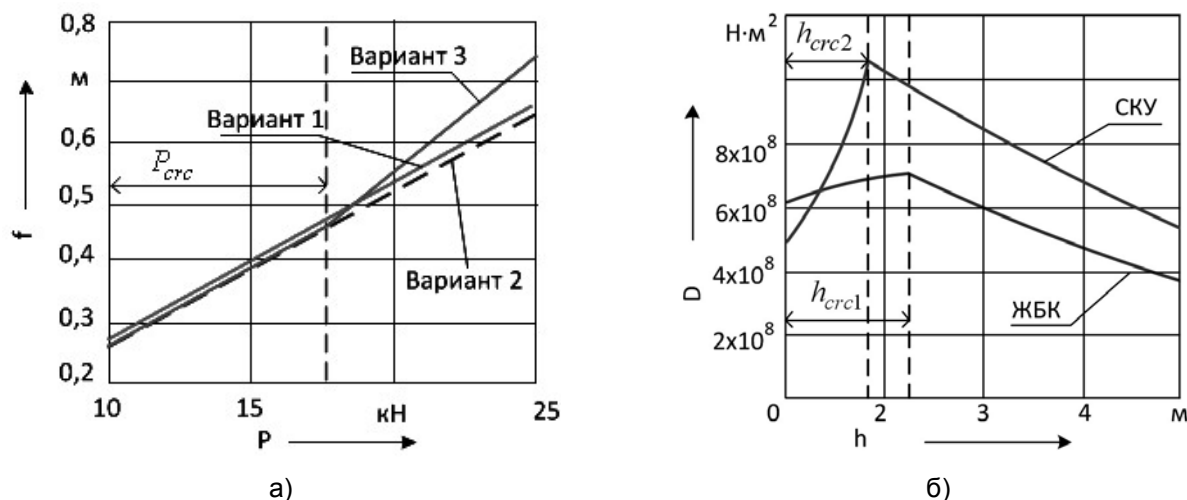


Рисунок 3 – Учет трещин при расчете жесткости: а)-прогибы опоры при использовании различных вариантов представления жесткости; б)-распределение жесткости по высоте стоек ЖБК и СКУ

5 Определение перемещения с помощью графоаналитического способа Верещагина для вычисления интеграла Мора. В общем виде для определения перемещений произвольной точки опоры предлагается использовать выражение

$$f_i = \sum_{j=n}^1 \left[ \omega_{\square j} \left( x_{\square j} + \sum_{j=n-1}^i x_j \right) + \omega_{\Delta j} \left( x_{\Delta j} + \sum_{j=n-1}^i x_j \right) \right], \quad (3)$$

если  $|M_{i+1}| \geq |M_i|$ ,

то  $\omega_{\square i} = h_i \frac{M_i}{D_i}$ ;  $x_{\square i} = \frac{1}{2} h_i$ ;  $\omega_{\Delta i} = \frac{h_i}{2} \left( \frac{M_{i-1}}{D_{i-1}} - \frac{M_i}{D_i} \right)$ ;  $x_{\Delta i} = \frac{2}{3} h_i$ ,

а в случае  $|M_{i+1}| < |M_i|$

$$\omega_{\square i} = h_i \frac{M_{i-1}}{D_{i-1}}; x_{\square i} = \frac{1}{2} h_i; \omega_{\Delta i} = \frac{h_i}{2} \left( \frac{M_i}{D_i} - \frac{M_{i-1}}{D_{i-1}} \right); x_{\Delta i} = \frac{1}{3} h_i,$$

где  $\omega_{\square i}, \omega_{\Delta i}$  – площади прямоугольной и треугольной составляющих  $i$ -го участка единичной эпюры изгибающих моментов соответственно;

$x_{\square i}, x_{\Delta i}$  – координаты центров масс площадей  $\omega_{\square i}, \omega_{\Delta i}$ ;

$h_i$  – высота  $i$ -го участка опоры;

$M_i$  – момент начала  $i$ -го участка;

$D_i$  – жесткость начала  $i$ -го участка опоры.

Суммарный дополнительный изгибающий момент рассчитывается по формуле

$$M_{\text{доп}} = \sum_{i=1}^n G_i f_i, \quad (4)$$

где  $G_i$  – нагрузки от элементов;

$n$  – количество нагрузок;

$f_i$  – прогибы стойки в точках приложения нагрузок.

В качестве выводов необходимо отметить практическую применимость рассмотренной методики определения жесткости. По ней были рассчитаны прогибы опор с нормальным и увеличенным габаритами и определены дополнительные изгибающие моменты, составившие 7 и 8% от результирующего момента. Так же расчеты по рассмотренной методике показали, что большее приращение изгибающего момента может возникнуть при повороте стойки в грунте, обусловленном повышенной податливостью заделки. Например, поворот стойки в грунте на  $3^\circ$  вызывает дополнительные изгибающие моменты, превышающие 19%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Запрудский, А.А. Определение нагрузок на опорные конструкции контактной сети с учетом деформации стоек / А.А. Запрудский // Изв. Транссиба : науч.-техн. журн. / ред. И.И. Галлиев; ОмГУПС. -2011. -Вып. 3(7). -С. 89-100.

2 Запрудский, А.А. Метод расчета усилий в кольцевом сечении дефектной железобетонной опоры / А.А. Запрудский // Инновации для транспорта: сб. науч. ст. / ОмГУПС. -Омск, 2010. -Ч.1. -С. 165-170.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** железобетонные опоры, контактная сеть, жесткость, загрузка

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Дёмин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Сычева Наталья Александровна, старший преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Скотников Дмитрий Сергеевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Запрудский Александр Алексеевич, канд. техн. наук, младший научный сотрудник ФБОУ ВПО «ОмГУПС»

Маслов Геннадий Петрович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ОмГУПС»

Герасименко Андрей Сергеевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»

630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:**

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ФБОУ ВПО «ОмГУПС»

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗЛИВА И РАСПРОСТРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ АВАРИЯХ СУДОВ НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ**

**ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»**

**В.М. Ботвинков, В.Ю. Бессонов**

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE PROCESSES OF OIL SPILLS AND THEIR EXPANSION AS A RESULT OF WRECKING IN INLAND WATERWAYS**

**«Novosibirsk state academy of water transport»**

V.M. Botvinkov, V.Yu. Bessonov

In the given article there are results of a field observation and laboratory experiments connected with the process of leaking of oil products through the hole in a watercraft, created as a result of wrecking.

*Keywords: oil, petroleum, spill, hole; accident, flow*

Приведены основные результаты натурных исследований и лабораторных экспериментов, связанных с изучением процесса истечения нефтепродукта через пробоину судна полученной в результате аварии.

Целью исследований процессов разливов нефти и нефтепродуктов при авариях судов являлось изучение характеристик повреждений транспортных судов и характера разливов.

В настоящей статье даны основные результаты натурных исследований и лабораторных экспериментов, а так же некоторые выводы, связанные с возможностью теоретического изучения истечения нефти и нефтепродуктов из пробоин полученных нефтеналивными танкерами и баржами в результате аварий на внутренних водных путях.

Программа модельных испытаний была составлена с учётом использования натурных

исследований, полученных в результате анализа статистических данных по авариям с участием нефтеналивных судов в Обском бассейне в период с 1999 г. по 2011 г.

Эксперименты на гидравлических моделях были выполнены с целью изучения некоторых особенностей, явления истечения жидкости из отверстий, знание которых необходимо для обоснования той или иной модели разлива нефтепродуктов через полученные пробоины. Прежде всего, необходимо было ответить на ряд вопросов, связанных с влиянием площади и формы полученной пробоины на интенсивность истечения из неё.

Изучение явления истечения жидкости из отверстий выполнялось на гидравлических установках лаборатории НГАВТ. Установки представляют собой большой резервуар с жидкостью под давлением, имеющий малое отверстие в стенке на достаточно большой глубине от свободной поверхности для испытаний истечения жидкости из малых (рисунок 1) и больших отверстий (рисунок 2). В качестве испытуемой жидкости использовалась вода, но для нефтепродуктов приняты поправочные коэффициенты: для бензина – 1,12; дизельного топлива – 0,92; керосина – 0,82; нефти – 0,65 [3]. Программа испытаний, предусматривает изучение поведения струи жидкости, а так же изменение расхода и коэффициента расхода в зависимости от формы и размера пробоины. Для испытаний было изготовлено одиннадцать форм отверстий внутреннего типа, различных по своей геометрической форме и площади. Отверстия № 1-6 имеют разнообразные геометрические формы, а отверстия №7-11 изготовлены в соответствии с пробоинами, полученными нефтеналивными судами в период с 1999 г. по 2011 г в Обском бассейне.



Рисунок 1 – Гидравлическая установка для испытаний истечения жидкости из малых отверстий



Рисунок 2 – Гидравлическая установка для испытаний истечения жидкости из больших отверстий

Отверстия были изготовлены для двух серий опытов: исследование истечений из малых отверстий (поперечный размер  $\leq 0,1H$ , где  $H$  - действующий напор) и больших (поперечный размер  $> 0,1H$ ) [2, 4]. Перед началом опытов определялась площадь отверстия каждого насадка. В каждой серии испытаний замерялось время заполнения специально оттарированного резервуара, предназначенного для сбора жидкости, а так же объём его заполнения. Полученное время фиксировалось при помощи секундомера, а уровень воды определялся согласно шкалам нанесённых на резервуар.

Каждая серия испытаний проводилась при разных уровнях напора. С малыми отверстиями было произведено семь испытаний и по три испытания с большими. Для получения более достоверных результатов каждое испытание состояло из трёх измерений. Результаты измерений для малых и больших отверстий представлены в таблице 1 и 2.

Расход воды для отверстий находится по формуле

$$Q = \frac{W}{t}, \quad (1)$$

где  $W$  – объём воды, см<sup>3</sup>;  
 $t$  – время, с.

## ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

Коэффициент расхода

$$\mu = \frac{Q}{\omega\sqrt{2gH}}, \quad (2)$$

где  $\omega$  – площадь отверстия, см<sup>2</sup>;

$H$  – напор над центром отверстия, см.

Таблица 1 – Результаты измерений с малыми отверстиями

№ отверстия	$\omega$ , см <sup>2</sup>	$Q_{cp}$ , см <sup>3</sup> /с	$H$ , см	$\mu_{cp}$
1	1,30	155,90-288,46	19,80-27,00	0,608-0,964
2	1,16	117,37-255,63	19,80-27,00	0,513-0,957
3	1,46	183,12-242,67	19,70-27,00	0,638-0,722
4	1,89	207,34-297,72	19,00-27,00	0,568-0,684
5	1,19	186,36-229,20	20,60-27,00	0,779-0,837
6	0,74	113,64-155,42	20,15-27,00	0,772-0,913
7	0,78	75,50-111,94	19,20-27,10	0,499-0,622
8	0,53	91,62-124,36	19,80-27,00	0,877-1,020
9	0,68	63,46-88,53	21,50-27,10	0,454-0,565
10	0,26	32,86-49,58	20,50-27,10	0,630-0,827
11	0,19	24,19-32,19	22,60-27,10	0,605-0,735

Таблица 2 – Результаты измерений с большими отверстиями

№ отверстия	$\omega$ , см <sup>2</sup>	$Q_{cp}$ , см <sup>3</sup> /с	$H$ , см	$\mu_{cp}$
1	19,52	819,67-2618,03	2,90-21,40	0,557-0,655
2	30,00	1158,30-3160,74	3,10-18,40	0,495-0,555
3	14,57	764,01-1782,30	4,50-21,00	0,558-0,603
4	24,69	1720,93-3601,30	6,10-21,40	0,637-0,712
5	25,80	1129,28-3216,00	3,50-24,40	0,528-0,570
6	7,36	370,98-1023,73	3,40-23,30	0,617-0,651
7	16,22	918,37-2029,00	5,70-24,30	0,535-0,573
8	10,55	709,79-1421,51	6,40-22,40	0,600-0,643
9	10,95	634,70-1105,87	8,15-22,70	0,458-0,479
10	3,81	279,80-611,42	5,40-23,30	0,713-0,751
11	4,05	373,14-751,65	7,50-24,10	0,760-0,853

Для установления достоверности полученных данных проводится оценка тесноты связи между значениями расхода жидкости и коэффициентом расхода, по степени соответствия концентрации точек относительно прямой (рисунок 3 и 4). Так же оценка даётся на основе анализа среднеквадратических отклонений экспериментальных точек от прямой, а так же на основе коэффициента корреляции [1; 3].

Коэффициент корреляции находится по формуле

$$r = \frac{\sum[(x_i - m_x)(y_i - m_y)]}{\sqrt{[(x_i - m_x)^2][(y_i - m_y)^2]}}, \quad (3)$$

где  $x_i, y_i$  – величины, соответствующие  $i$ -му замеру;

$m_x, m_y$  – математическое ожидание величин  $x_i, y_i$  по всей совокупности замеров.

Величина среднеквадратического отклонения точек от кривой

$$\sigma = \sqrt{\frac{(y_i - m_y)^2}{n-1}}, \quad (4)$$

где  $n$  – число измерений.

Так как концентрация точек экспериментальных данных на графиках имеет вытянутый характер. Среднеквадратическое отклонение малых отверстий  $\sigma = 0,021-0,152$  и больших отверстий  $\sigma = 0,017-0,049$  (таблица 3), говорит о незначительном отклонении экспериментальных данных. Коэффициент корреляции, как для малых, так и для больших отверстий (таблица 3) находится в диапазоне  $r = 0,991-0,999$ , то полученные результаты позволяют говорить о том, что зависимость близка к функциональной, с незначительными погрешностями замеров [3].

В связи с тем, что пробоины смоделированы как рваные внутренние насадки, то провести какой либо сравнительный анализ полученных данных не представляется возможным, так как данные конструкции в гидравлике не рассматривались. Наиболее подходящим по свойствам и форме является цилиндрический внутренний насадок Бордо, у которого коэффициент расхода согласно Чугаева [5] в среднем составляет:

–  $\mu = 0,51$  при  $\ell/d = 0,5$ ;

–  $\mu = 0,71$  при  $\ell/d = 3-4$ .

где  $\ell$  – длина насадка, см;

$d$  – диаметр насадка, см.

Отверстия согласно Чугаева [5] подразделяются по следующему условию:

– малые  $\Omega/\omega > 4,0$ ;

– большие  $\Omega/\omega \leq 4,0$ ,

где  $\Omega$  – площадь подходного сечения, см<sup>2</sup>;

$\omega$  – площадь отверстия, см<sup>2</sup>.

На основе опытов установлено, что для исследуемых малых отверстий коэффициент расхода колеблется в диапазоне 0,45-1,04, для больших отверстий в диапазоне 0,45-0,87. Эти значения применимы для всех случаев истечения жидкости из пробоины полученной нефтеналивным судном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Аполлов, Б.А. Учение о реках: учебник / Б.А. Аполлов. -М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1963. -423 с.
- 2 Примеры расчётов по гидравлике: учеб. пособие для вузов / А.Д. Альтшуль, В.И. Калицун, Ф.Г. Майрановский, П.П. Пальгунов; под. ред. А.Д. Альтшуля. -М.: Стройиздат, 1977. -255 с.
- 3 Бессонов, В.Ю. Влияние физических свойств нефтепродуктов на их истечение из отверстий / В.Ю. Бессонов // Научн. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Восто. -2012. -№1. -С. 204-206.
- 4 Идельчик, И.Е. Гидравлические сопротивления / И.Е. Идельчик. -М.: Госэнергоиздат, 1954. -316 с.
- 5 Справочник по гидравлическим сопротивлениям / П.Г. Киселёв, А.Д. Альтшуль, Н.В. Данильченко, А.А. Каспарсон, Г.И. Кривченко, Н.Н. Пашков, С.М. Слиссский; под ред. П.Г. Киселёва. -Изд. 4-е, перераб. и доп. -М.: Энергия, 1972. -312 с.
- 6 Чугаев, Р.Р. Гидравлика: учеб. для вузов / Р.Р. Чугаев. -4-е изд., доп. и перераб. -Л.: Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. -672 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нефть, нефтепродукт, разлив, пробоина, авария, расход

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Ботвинков Владимир Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Бессонов Владимир Юрьевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Таблица 3 – Результаты расчёта коэффициента корреляции и среднеквадратического отклонения функции  $\mu = f(Q)$

№ отверстия	Малые отверстия		Большие отверстия	
	$r$	$\sigma$	$r$	$\sigma$
1	0,998	0,117	0,998	0,049
2	0,998	0,152	0,974	0,033
3	0,996	0,028	0,999	0,022
4	0,991	0,038	0,999	0,037
5	0,995	0,021	0,998	0,021
6	0,995	0,047	0,999	0,017
7	0,993	0,044	0,991	0,019
8	0,996	0,050	0,976	0,021
9	0,991	0,039	0,997	0,010
10	0,985	0,067	0,998	0,019
11	0,995	0,042	0,997	0,047

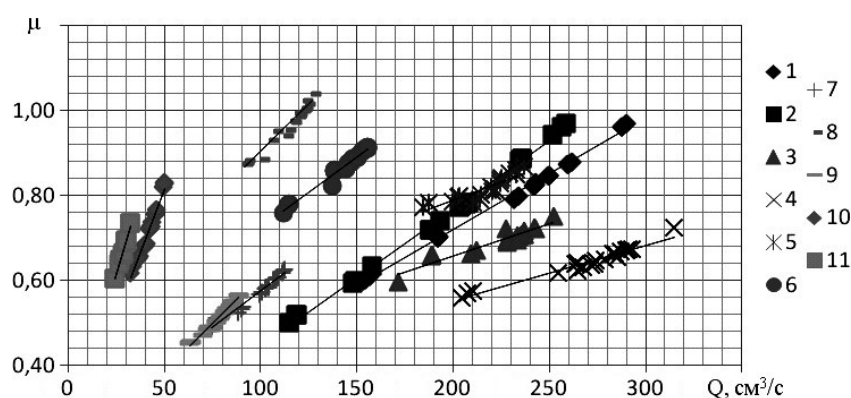


Рисунок 3 – Общий график зависимости коэффициента расхода от расхода (малые отверстия)

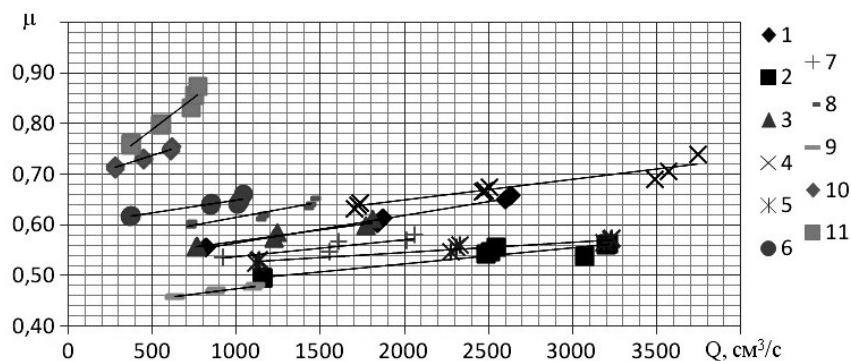


Рисунок 4 – Общий график зависимости коэффициента расхода от расхода (большие отверстия)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОПУСКОВ В НИЖНИХ БЬЕФАХ ГЭС И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОБЪЕМЫ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

М.В. Шестова, Ю.Е. Воронина, А.Н. Ситнов, И.В. Липатов

STUDY OF WAVE TRANSFORMATION IN THE DOWNSTREAM HYDROELECTRIC POWER AND THEIR INFLUENCE ON THE AMOUNT OF DREDGING

«Volga state academy of water transport»

M.V. Shestova, Ju.E. Voronina, A.N. Sitnov, I.V. Lipatov

Based on the results of field studies in this paper assessed the current state of the levels in the downstream of the Nizhny Novgorod Hydroelectric Power Plant (Volga river). It was estimated the amount of dredging, where there are lower levels, assessed by lowering the water level at the site.

*Keywords: mode levels, the transformation of the wave, curves of the free surface, the volume of dredging*

Дана оценка современному состоянию уровенного режима нижнего бьефа Нижегородской ГЭС (р. Волга) на основе результатов натурных исследований. Подсчитан объем дноуглубления при разработке прорезей на участках, где имеются «провальные» уровни, дана оценка по понижению уровня воды на исследуемом участке.

Основой интенсивного развития судоходства является увеличение пропускной способности водных путей. Как правило, лимитирующими являются свободные (неподпёртые) участки нижних бьефов ГЭС, которые в современных условиях на ЕГС Европейской части не позволяют в полной мере использовать возможности речного транспорта. К ним в первую очередь относятся нижние бьефы Нижегородского, Чайковского, Новосибирского и других гидроузлов. Поэтому весьма важным является поиск и обоснование путей исследования пропускной способности таких участков с учетом особенностей их гидрологического режима. На примере нижнего бьефа Нижегородской ГЭС (ННГЭС) на участке Городец – Нижний Новгород была дана оценка изменения уровней и режимов глубин при различных расходах через ГЭС. С этой целью Волжским ГБУВПиС по программе Водной академии были выполнены натурные наблюдения за режимом уровней при движении волны попуска.

Исследования с помощью русловой партии №22 Нижегородского РВПиС проводились в два этапа:

- 1) в период с 8.00 ч 21.07.2009 г. по 8.00 ч 22.07.09 г. при расходе через ННГЭС 1300 м<sup>3</sup>/с;
- 2) в период с 8.00 ч 28.10.2009 г. по 8.00 ч 29.10.09 г. при расходе через ННГЭС 1100 м<sup>3</sup>/с.

Натурные наблюдения велись на шести гидрологических постах: «створ №7» (г. Городец, 856 км), Н.Кочергинский пережат (867,5 км), Н.Ветлянский пережат (872,5 км), «г. Балахна» (877 км), Козинский пережат (886,5 км), «Сормово» (899,5 км).

По натурным данным были построены графики мгновенного положения кривых свободной поверхности в пунктах участка г. Городец – Сормово и графики колебания уровней воды при среднесуточных расходах воды 1100 и 1300 м<sup>3</sup>/с (рисунок 1 и 2). Данные графики дают возможность проанализировать почасовое изменение фактической отметки уровня на пережатах исследуемого участка. Можно отметить, что в настоящее время единственно относительно благоприятным участком, где выдерживается проектный уровень воды (ПУВ) при расходах  $Q_{ср.сут}$  = 1300 и 1100 м<sup>3</sup>/с, является участок от Козинского пережата до Сормово (886,5-899,5 км). На вышележащих пережатах ситуация достаточно сложная. Результаты анализа продолжительности выдерживания уровней воды на отметках не ниже ПУВ приведены в таблице 1.

Для того чтобы оценить интенсивность и характер изменения уровенного режима в нижнем бьефе за последние 10 лет ниже приведены результаты натурных исследований, проводимых Волжским ГБУВПиС в период с 28 сентября по 1 октября 1999 года на участке Городец-Н. Новгород при среднесуточном расходе воды 1100 м<sup>3</sup>/с (см. рисунок 3). На основе анализа изменения положения кривых свободной поверхности воды в течение суток были сделаны заключения о продолжительности стояния уровней на необходимых отметках. Так, в 1999 г. при расходе 1100 м<sup>3</sup>/с гарантированная глубина 3,5 м выдерживалась всего 2 ч (г/п

«Створ №7), 4 ч (Н. Кочергинский) и 4 ч (Н. Ветлянский). Положение кривых свободной поверхности за 1999 г. показывает, что режим сбросов в большей степени оказывал влияние на условия судоходства на участке в непосредственной близости к плотине (г/п «г. Городец») (см. рисунок 3). Из анализа же кривых свободной поверхности за 2009 г. видно, что это влияние существенно сказывается уже и на нижележащем перекате – Н. Ветлянском (рисунок 2).



Рисунок 1 – Кривые свободной воды на участке Городец-Н. Новгород (2009 г., среднесуточный расход воды 1300 м³/с)

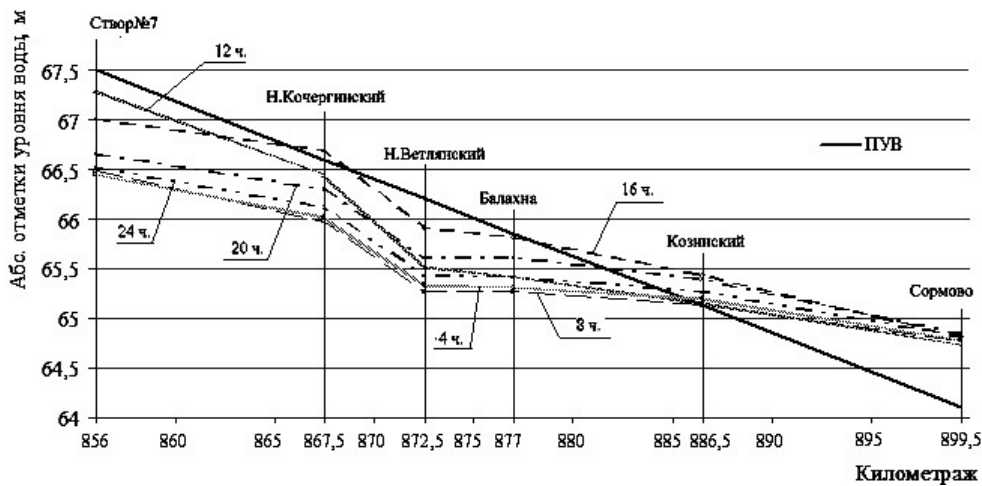


Рисунок 2 – Кривые свободной воды на участке Городец-Н. Новгород (2009 г., среднесуточный расход воды 1100 м³/с)

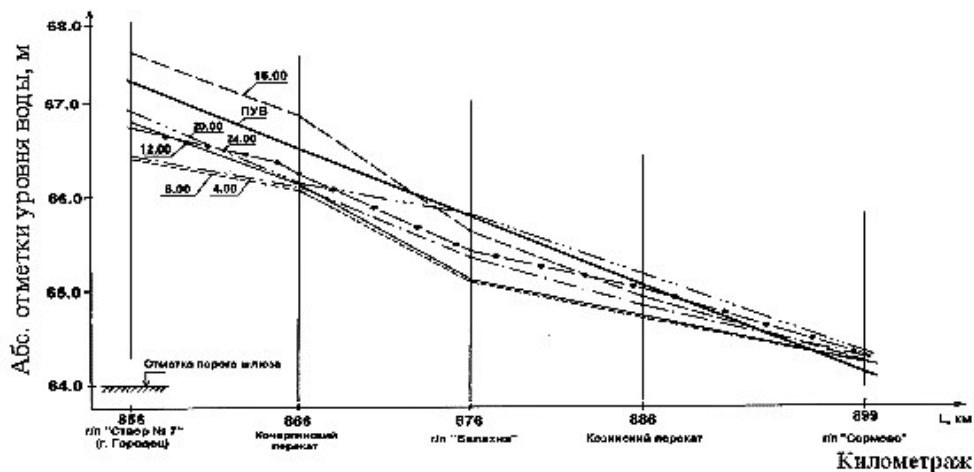


Рисунок 3 – Кривые свободной воды на участке Городец-Н. Новгород (1999 г., среднесуточный расход воды 1100 м³/с)



Таблица 1 – Продолжительность выдерживания уровней воды на участке Городец-Н. Новгород (2009 г.)

Гидрологический пост, километраж	Продолжительность (период) стояния уровней воды не ниже ПУВ	
	при $Q_{ср.сут} = 1100 \text{ м}^3/\text{с}$	при $Q_{ср.сут} = 1300 \text{ м}^3/\text{с}$
Створ №7 (856 км)	ПУВ не выдерживается	6,5 ч (с 11.00 до 17.30)
Н. Кочергинский пережат (867,5 км)	2,5 ч (с 13.30 до 16.00)	8 ч (с 12.00 до 20.00)
Н.Ветлянский пережат (872,5 км)	ПУВ не выдерживается	11,5 ч (с 12.00 до 23.30)
Балахна (877 км)	5 ч (14.00 до 19.00)	11 ч (с 12.30 до 23.30)
Козинский пережат (886,5 км)	ПУВ выдерживается в течение суток	
Сормово (899,5 км)	ПУВ выдерживается в течение суток	

Исследования уровня режима нижнего бьефа ННГЭС, проведенные ранее, также показали, что с течением времени происходит существенная трансформация суточного графика колебаний уровней вследствие посадки уровня воды в нижнем бьефе из-за глубинной эрозии русла. Динамика изменения уровня режима за последние 10 лет представлена на рисунке 4. Сопоставление современного уровня режима с ситуацией 1999 г. показывает существенное ухудшение судоходного состояния этого участка водного пути.

Для улучшения судоходной ситуации на участке Городец-Н. Новгород предлагается два кардинальных варианта – подъем уровня Чебоксарского водохранилища до отметки 68,0 м БС, либо строительство низконапорного комплексного гидроузла с мостовым переходом на р. Волге выше г. Нижний Новгород в районе Б. Козино. Однако ни тот ни другой вариант в настоящее время не реализован, что влечет за собой лишь усугубление ситуации на участке год от года. Регулирование стока Рыбинского водохранилища в значительной мере влияет на сброс воды через Нижегородскую ГЭС. Угроза ненаполнения Рыбинского водохранилища может повлечь за собой еще большее ухудшение ситуации в нижнем бьефе ННГЭС за счет уменьшения сбрасываемых расходов. Однако проектный расход в  $1100 \text{ м}^3/\text{с}$  старались выдерживать в течение всей навигации.

В 2001 году на базе исследований Волжской академией по заданию Минприроды РФ институт «Гидропроект» разработал новые «Правила использования Рыбинского и Горьковского водохранилищ на Волге», в которых рекомендовано увеличение среднесуточного навигационного попуска в нижнем бьефе Нижегородского гидроузла с  $1100 \text{ м}^3/\text{с}$  до  $1300 \text{ м}^3/\text{с}$ , что также не всегда выдерживается.

Для обеспечения судоходства на участке Городец-Н. Новгород неизбежно проведение дноуглубительных работ. Так как гарантированная глубина на прилегающих участках составляет 4 м, то нами была выполнена оценка объемов необходимых дноуглубительных работ при разработке судоходных прорезей до 4 м на всем участке, где имеются «провальные», то есть ниже проектного, уровни. На основании полученных кривых свободной по-

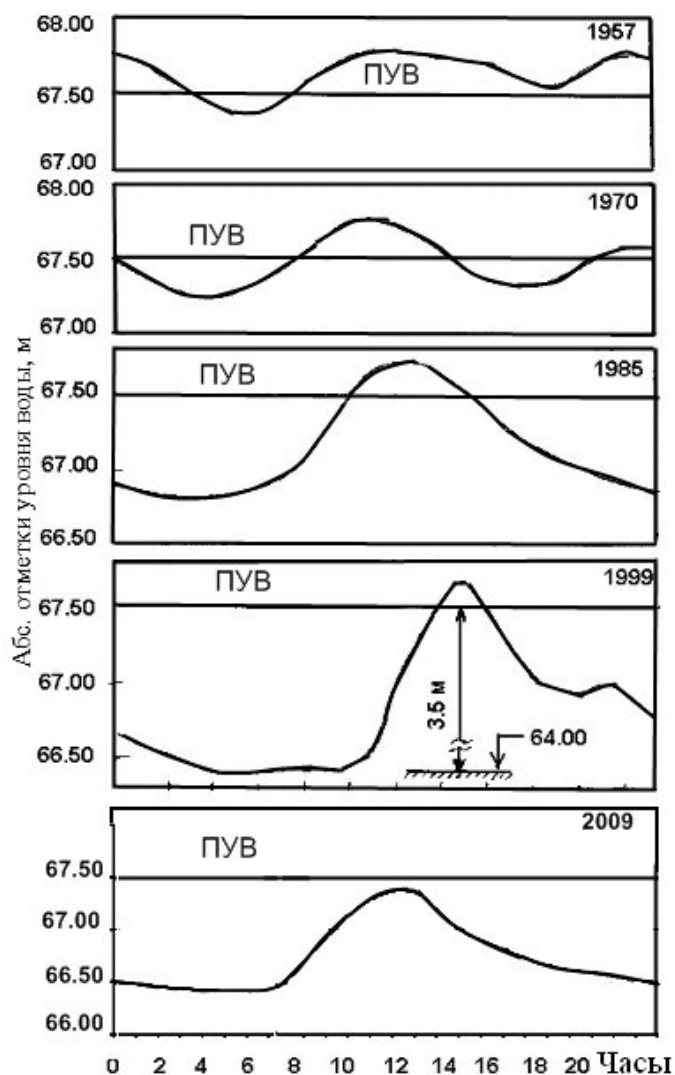


Рисунок 4 – Трансформация суточного графика колебаний уровней воды в нижнем бьефе ННГЭС (г/п «Створ №7») при  $Q_{ср.сут} = 1100 \text{ м}^3/\text{с}$

верхности воды при среднесуточных расходах  $1100 \text{ м}^3/\text{с}$  и  $1300 \text{ м}^3/\text{с}$  были построены продольные профили дна и намечены судоходные прорезы с учетом существующей посадки уровня (рисунки 5 и 6). При этом приближенные объемы дноуглубления составили  $975 \text{ тыс. м}^3$  и  $238 \text{ тыс. м}^3$  при  $Q_{\text{ср.сут}} = 1100 \text{ м}^3/\text{с}$  и  $1300 \text{ м}^3/\text{с}$  соответственно.

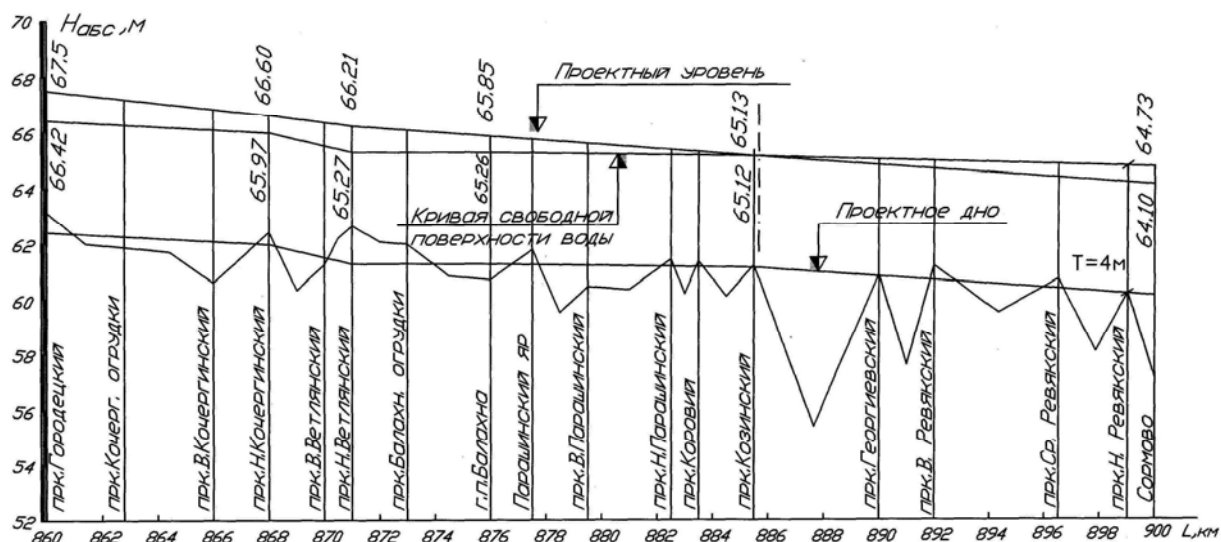


Рисунок 5 – Продольный профиль участка Городец-Н. Новгород (при  $Q_{\text{ср.сут}} = 1100 \text{ м}^3/\text{с}$ )

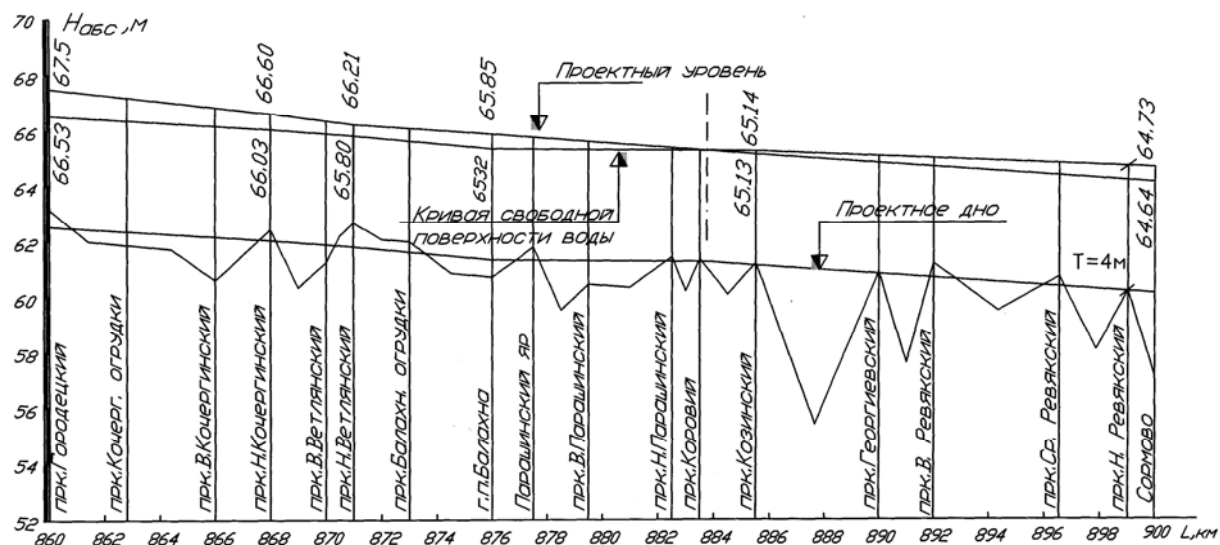


Рисунок 6 – Продольный профиль участка Городец-Н. Новгород (при  $Q_{\text{ср.сут}} = 1300 \text{ м}^3/\text{с}$ )

Дноуглубительные работы влекут за собой понижение отметок поверхности воды выше разрабатываемых перекатов. По планам съемок перекатов были построены поперечные профили реки и определена посадка уровня при разработке прорезей. Максимальная величина посадки составляет  $4,8 \text{ см}$  при  $Q_{\text{ср.сут}} = 1300 \text{ м}^3/\text{с}$  и  $7,5 \text{ см}$  при  $Q_{\text{ср.сут}} = 1100 \text{ м}^3/\text{с}$ , что для данного типа реки является приемлемым. Однако, как показали исследования уренивного режима, необходимая глубина на отдельных перекатах (см. таблицу 1) по данным 2009 г. уже не выдерживалась, причем понижение уровня на пороге Городецкого шлюза в настоящее время продолжается. В связи с этим важно учитывать суммарное понижение уровня воды как за счет дноуглубления, так и за счет глубинной эрозии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: уренивный режим, трансформация попусков, кривые свободной поверхности, объемы дноуглубительных работ

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Шестова Марина Вадимовна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
Воронина Юлия Евгеньевна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
Ситнов Александр Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
Липатов Игорь Викторович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603950, г. Н. Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОБОСНОВАНИЯ ГЛУБИН НА ПОДХОДАХ К СУДОХОДНЫМ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИМ СООРУЖЕНИЯМ

ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

А.Н. Ситнов, И.В. Липатов

METHODOICAL QUESTIONS OF THE MOTIVATION OF THE DEPTHS ON APPROACH TO NAVIGABLE HYDROTECHNICAL CONSTRUCTIONS

«Volga state academy of water transport»

A.N. Sitnov, I.V. Lipatov

Particularities of the standardization of the navigable depths are considered in article on threshold of locks. The offered methods of the determination of the navigable depths on threshold of lock taking into account influence of the emptying waves.

Keywords: lock, threshold of lock, additional setting ship, navigable depth

Рассмотрены особенности нормирования судоходных глубин на порогах шлюзов. Предложена методика определения судоходных глубин, на порогах шлюза учитывающая влияние волн попуска от опорожнения.

Экономическая эффективность работы внутреннего водного транспорта во многом определяется наличием судоходных глубин на лимитирующих участках и эффективным использованием их пропускной способности. Последняя подразумевает загрузку судна на максимально возможную осадку, ограниченную путевыми условиями.

Как показывает практика, на сегодняшний день лимитирующими по пропускной способности стали участки водного пути на подходах к шлюзам со стороны нижних бьефов. В первую очередь это связано с отказом от первоначальной схемы заполнения водохранилищ, в результате чего пороги шлюзов оказались не в подпертом состоянии (Городецкие и Чайковские шлюзы). В результате движение крупнотоннажного флота через Городецкий шлюз стало возможным только в течение 1-2 ч в сутки, а на Чайковском шлюзе в конце навигации шлюзование вообще становится проблемным. Поэтому крупнотоннажный флот идет с большой недогрузкой и значительными потерями провозной способности.

При решении проблемы важным является вопрос о соотношении осадки судна и глубины на пороге лимитирующего шлюза. На сегодняшний день этот вопрос регламентируется СНиП 2.06.07-87 [1], которым безопасная глубина на пороге шлюза должна подчиняться условию

$$S_{\text{п}} \geq 1,3 S_{\text{с}}, \quad (1)$$

где  $S_{\text{с}}$  – максимальная осадка шлюзующегося судна.

То есть в соответствии с действующей редакцией СНиП [1] для движения судов с осадкой 3,5 м, на подходах к шлюзу должна быть гарантирована глубина 4,55 м. Такие глубины, как правило, бывают только во время непродолжительного по сравнению с общей длительностью навигации периода половодья, а большую часть навигации флот должен ходить с пониженной осадкой.

В связи с такими нестыковками, предлагается вернуться к более, на наш взгляд, корректному подходу, представленному в старой редакции СНиП II-55-79 [2]. В соответствии с этим документом минимально допустимая глубина на пороге камеры шлюза определяется выражением

$$S_{\text{п}} > S_{\text{с}} + \Delta S_{\text{D}} + \delta_{\text{мин}}, \quad (2)$$

где  $S_{\text{п}}$  – глубина на пороге шлюза;

$S_{\text{с}}$  – статическая осадка судна в полном грузу;

$\Delta S_{\text{D}}$  – дополнительная осадка кормы судна при его движении с расчетной скоростью при входе/выходе из камеры шлюза;

$\delta_{\text{мин}}$  – минимальный запас глубины под днищем.

Для водных путей при определении глубин на судовом ходу используются запасы под днищем по аналогии с формулой (2). Так, согласно правил плавания [3], суда с осадкой более 3 м имеют минимальный запас по глубине на песчаном грунте 20 см, а на каменистом – 25 см. В тоже время для шлюзов в этих условиях применяется жесткий запас по глубине в 40 см. Такой подход не позволяет учитывать локальную специфику и особенности явлений,

сопровождающих вход/выход судна из камеры шлюза. Поэтому в ряде критических случаев он является некорректным. Принципиальным отличием величины запаса глубины под днищем при движении по реке и по шлюзу является то, что в первом случае эта величина квазистационарная, а при шлюзовании запас глубины интенсивно меняется по времени, то есть является динамической величиной.

Как показывают натурные наблюдения, минимальное расстояние между днищем судна и днищем шлюза интенсивно меняется при прохождении судна в границах участка порядка 400 м. Поэтому применительно к шлюзам предлагается рассматривать величину  $\delta_{мин}$  как динамический запас глубины. Под последним подразумевается минимально допустимое расстояние между днищем шлюза и нижней точкой корпуса судна в процессе выхода из камеры. Многолетняя практика показывает, что величину динамического запаса глубины  $\delta_{мин}$  безопасно можно принять равной 20 см.

Использование подхода, базирующегося на формуле (2), в отличие от жесткой регламентации запаса глубины по правилам [3], позволит более гибко учитывать особенности работы системы «судно-шлюз». Согласно натурным данным, определяющими факторами взаимодействия системы «судно-шлюз», являются следующие: близкие к единице коэффициенты стеснения живого сечения; особенности потока обтекания судна при движении в шлюзе; волновой режим на подходах к шлюзу; характер маневрирования и скоростной режим движения судна.

Как показали исследования, выполненные на Чайковском шлюзе при пропуске крупнотоннажного флота, в случае нехватки глубин именно указанные факторы становятся решающими при определении возможности шлюзования судна.

Переход от жесткой регламентации минимального запаса глубин в шлюзе на нормирование минимально допустимого динамического запаса является, на наш взгляд, обоснованным подходом к решению вопроса в современных условиях. Наличие такого критерия позволит, с одной стороны, иметь оптимальные, безопасные запасы глубин под днищем, в самых различных ситуациях, а с другой – чутко и оперативно реагировать на гидрологические особенности навигации и изменения структуры и типоразмеры судов. Последнее станет особенно актуально в свете вступления России в ВТО, что влечет за собой открытие внутренних водных путей для иностранного флота.

Особенностью работы шлюзов, находящихся вне зоны подпора от ниже расположенного водохранилища, является значительное влияние волн попуска на судоходную глубину. Эти волны образуются в подходном канале в результате опорожнения сливной призмы камеры шлюза. Поэтому начальный статический уровень на подходах к камере шлюза начинает изменяться и раскачиваться с амплитудой до 30-45 см (применительно к Чайковскому шлюзу). Процесс спада глубины по времени совпадает с моментом выхода прошлюзовавшегося судна из камеры, делая повреждение корпуса неизбежным в рассматриваемой ситуации недостаточных глубин.

Помимо дополнительной просадки судна из-за волновых процессов в условиях ограниченного фарватера наблюдается явление дифферента корпуса. В результате общая дополнительная просадка кормы будет складываться из двух составляющих

$$\Delta S_D = \Delta S_W + \Delta S_{pr}, \quad (3)$$

где  $\Delta S_W$  – понижение (дополнительная просадка) кормы судна в результате волновых процессов в подходном канале;

$\Delta S_{pr}$  – дополнительная просадка кормы судна при движении в сжатом фарватере.

Как первая, так и вторая величины дискретно определяются указанными выше факторами. Поэтому для наглядности и удобства пользования, выражение (2) с учетом (3) приведем к виду

$$S_{г} - S_{с} - \Delta S_W - \Delta S_{pr} > \delta_{мин}. \quad (4)$$

С точки зрения математической физики использование в расчетах выражения (4) позволяет судить о возможности выхода судна из камеры шлюза не только по начальным и граничным условиям (как это подразумевает современная нормативная литература), но и по динамике развития всего процесса шлюзования в целом. Таким образом, возможность выхода судна из камеры шлюза с известной осадкой при заданной отметке свободной поверхности на подходах к шлюзу (глубине на пороге камеры), будет определяться наличием минимально допустимого запаса глубины под днищем судна в процессе его движения из шлю-

за. Реальный запас глубины под днищем определяется как разница статической глубины на пороге шлюза в момент начала выхода из камеры и осадки судна с дополнительным вычетом снижения глубины от волнового понижения уровня воды и просадки судна при движении.

Как показали предварительные исследования авторов, использование данного подхода к оценке возможности движения крупнотоннажного флота через Чайковский шлюз позволило выявить резервы провозной способности судов типа «Волго-Дон». Например, при загрузке судов этого типа на осадку 3,3 м и равноускоренном движении со скоростью до 0,8 м/с, начальный запас под корпусом в камере можно уменьшить до 35 см вместо 40 см, как это предполагают правила [3]. Для практической реализации данного подхода вышеприведенные методические предложения и соответствующие регламенты должны быть юридически закреплены и стать рабочим инструментом судоводителей и эксплуатационного персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 СНИП 2.06.07-87. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. -М.: Стройиздат, 1989. -29 с.
- 2 СНИП II-55-79. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. -М.: Стройиздат, 1979. -45 с.
- 3 Правила плавания по внутренним водным путям РФ. -М.: По Волге: РКонсультант, 2003. -128 с. -(Библиотека судовладельца).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** шлюз, порог шлюза, просадка судна, судоходная глубина  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Ситнов Александр Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
Липатов Игорь Викторович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 603950, г. Н. Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## ИСТЕЧЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ ИЗ ТАНКЕРА В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ, ПРИ ЕГО МАНЕВРИРОВАНИИ НА ПОВОРОТЕ РУСЛА РЕКИ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**В.А. Седых, В.Ю. Бессонов**

### OIL PRODUCTS LEAKING FROM A TANKER AFTER A WRECKING CAUSED BY ITS MANEUVERING ON A TURN IN A RIVERBED

«Novosibirsk state academy of water transport»  
V.A. Sedyh, V.Yu. Bessonov

The analysis of conditions of oil and oil products spills from a tanker after a wrecking caused by its maneuvering on a turn in a riverbed is accomplished, as well as their influence on intensity of oil product spills.

*Keywords: oil, petroleum, oil products; spill, hole; accident; flow; centrifugal force, pressure*

Выполнен анализ условий истечения нефти и нефтепродуктов из танкера при авариях на повороте русла реки, а так же их влияние на интенсивность истечения нефтепродукта.

Поворот речного русла является одним из наиболее тяжёлых навигационных препятствий для нефтеналивных судов [1, 3]. В связи с этим исследование, посвященное анализу истечения нефти и нефтепродуктов из танкера при условии прохождения поворота русла реки, представляет большой практический интерес для установления более полной картины условий истечения нефтепродукта из судна (рисунок 1). При расчёте количества истекающей жидкости из пробоины нефтеналивного судна необходимо было установить влияние сил действующих на судно при повороте. А так же их влияние на интенсивность истечения нефтепродукта.

При циркуляционном движении, на судно значительное влияние оказывает центробежная сила [1, 3]. Если суммировать внешнюю силу давления воды с воздействием центробежной силы, то получим силу выталкивающую нефтепродукт из танка судна при истечении жидкости в атмосферу через образовавшееся отверстие в корпусе нефтеналивного судна (рисунок 2).

$$F = F_{ц.б.} + F_{\text{вн.}}, \quad (1)$$

где  $F_{\text{вн.}}$  – внешние силы давления воды на корпус судна, Н;  
 $F_{ц.б.}$  – центробежная сила судна, Н.

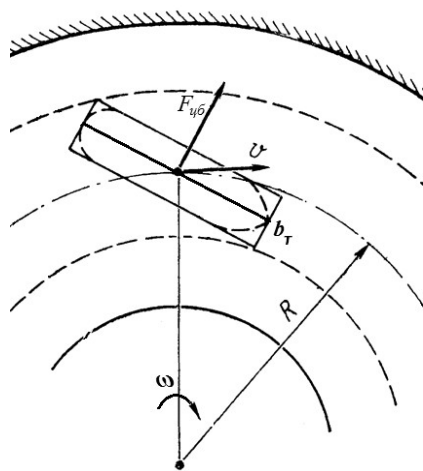


Рисунок 1 – Силы, действующие на судно при повороте (вид сверху)

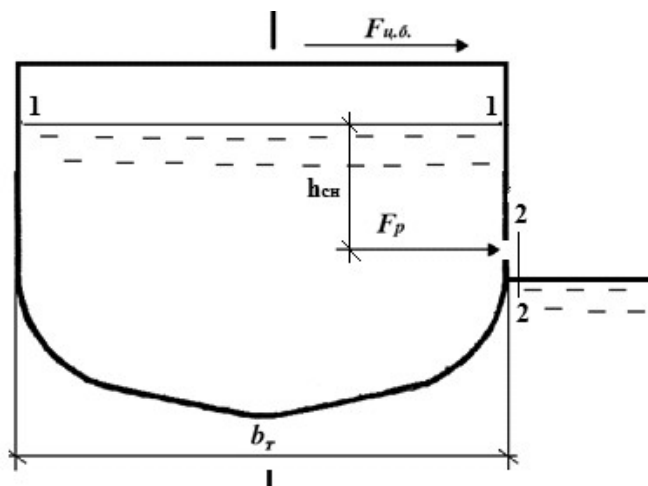


Рисунок 2 – Силы, действующие на судно на повороте при истечении жидкости в атмосферу (поперечный разрез)

В связи с тем, что пробоина, полученная в результате аварии, может находиться на различных уровнях корпуса судна, следует произвести расчёт для истечения нефтепродукта под уровень [2]. Для этого необходимо суммировать внешнюю силу давления воды с силой воздействия центробежной силы и сравнить с силой давления нефтепродукта на корпус судна. Таким образом, будет установлена зависимость, при которой будет обеспечено истечение нефтепродукта под уровень.

В таком случае, истечение жидкости из пробоины судна будет обеспечено при следующем условии соотношения действующих на него сил (рисунок 3)

$$F = F_{ц.б.} + F_p > F_в, \quad (2)$$

где  $F_p$  – силы давления жидкости истекающей из отверстия, Н.

Центробежная сила будет определена по следующей формуле

$$F_{ц.б.} = \rho \omega_{оме} b_m \omega, \quad (3)$$

где  $b_m$  – ширина нефтеналивного судна, м;

$\omega$  – центробежное ускорение, м/с<sup>2</sup>;

$\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$\omega_{оме}$  – площадь отверстия, м<sup>2</sup>.

Сила внешнего давления воды на корпус судна, а так же нефтепродукта истекающего из отверстия [2], рассчитываются по следующей формуле

$$F = \gamma h_c \omega_{оме}, \quad (4)$$

где  $\gamma$  – объёмный вес, Н/м<sup>3</sup>;

$h_c$  – напор над центром отверстия, м.

Из условия следует, что перелив нефтепродукта через пробоину под уровень в судне будет обеспечен при условии, что суммарная сила центробежная и давление нефтепродукта на корпус судна будет превышать силу давления речной воды на корпус судна

$$\rho \omega_{оме} b_m \frac{v^2}{R} + \gamma h_{сн} \omega_{оме} > \gamma h_n \omega_{оме}. \quad (5)$$

Теперь необходимо установить среднюю скорость в сжатом сечении и расход нефтепродукта вытекающего из танкера для обоих случаев. Решение данной задачи приведено Чугаевым Р.Р. [4], при помощи уравнения Бернулли

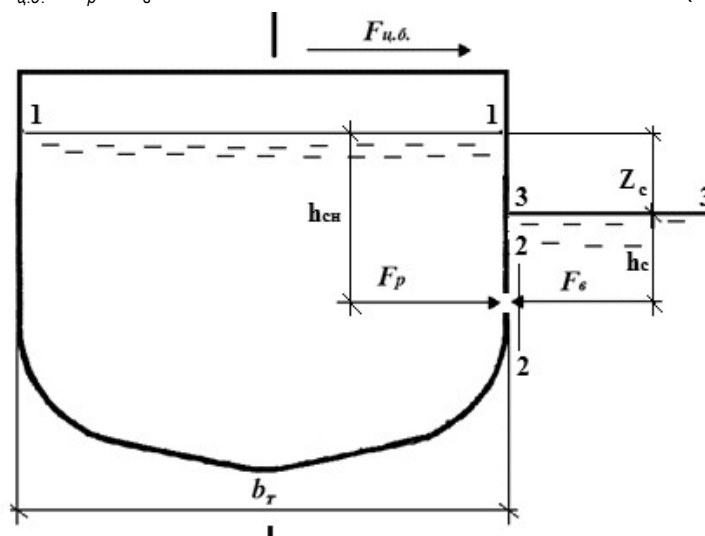


Рисунок 3 – Силы, действующие на судно на повороте при истечении жидкости под уровень (поперечный разрез)

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_f, \quad (6)$$

где  $Z_1, Z_2$  – превышение над плоскостью сравнения свободной поверхности в сечениях, м;  
 $P_1, P_2$  – гидродинамическое давление в сечениях, Па;  
 $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  
 $v_1, v_2$  – скорости в сечениях, м/с.

Согласно Чугаева Р.Р [4] расчётная формула средней скорости в сжатом сечении будет иметь вид

$$v = \varphi \sqrt{2g h_c}, \quad (7)$$

где  $\varphi$  – коэффициент скорости, учитывающий потери напора.

Таким образом, зная скорость ( $v$ ) в сжатом сечении, установим формулу расхода для истечения нефтепродукта в атмосферу (8), а так же расход для затопленного отверстия (9)

$$Q = \mu \omega \sqrt{2g h_c}; \quad (8)$$

$$Q = \mu \omega \sqrt{2g Z_c}, \quad (9)$$

где  $Z_c$  – разность уровней нефтепродукта и забортной воды.

Численное значение коэффициента расхода ( $\mu$ ) для случая истечения под уровень, согласно Чугаеву Р.Р. [4], будет таким же, как и при истечении в атмосферу.

В результате анализа условий истечения нефтепродукта из танка судна были установлены следующие значения:

- Зависимость соотношения сил действующих на судно на изгибах и поворотах, обеспечивающая истечение нефти и нефтепродукта через пробоину;
- Средняя скорость, а так же расход для отверстия находящегося выше поверхности реки, и для затопленного отверстия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ходкость и управляемость судов: учеб. для вузов / Ф.Б. Бавин, В.И. Зайков, В.Г. Павленко, Л.Б. Сандлер; под. ред. В.Г. Павленко. -М.: Транспорт, 1991. -397 с.
- 2 Идельчик, И.Е. Гидравлические сопротивления / И.Е. Идельчик. -М.: Госэнергоиздат, 1954. -316 с.
- 3 Павленко, В.Г. Маневренные качества речных судов (управляемость судов и составов): учеб. пособие для ин-тов вод. трансп. / В.Г. Павленко. -М.: Транспорт, 1979. -184 с.
- 4 Чугаев, Р.Р. Гидравлика: учеб. для вузов / Р.Р. Чугаев. -4-е изд., доп. и перераб. -Л.: Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. -672 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** нефть, нефтепродукт, разлив, пробоина, авария, расход, центробежная сила, давление  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Седых Виталий Алексеевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Бессонов Владимир Юрьевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЗАНОСИМОСТИ РЕЧНЫХ ЗАТОНОВ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**Н.А. Седых**

### CALCULATED SUBSTANTIATION FOR SEDIMENT ACCUMULATION OF RIVER BACKWATERS «Novosibirsk state academy of water transport»

N.A. Sedykh

The paper presents the analysis of substantiation for sediment accumulation of river backwaters and the peculiarities of their calculation on convex river banks.

*Keywords: river backwaters, drifts, sediment accumulation*

Дается анализ обоснования заносимости речных затонов и особенности их расчета при расположении на внутренних берегах рек.

Гидравлический режим затонов рассматривался в исследованиях М.М. Гришина, Л.Н. Белокопя, А.Я. Миловича, В.Я. Альберга, А.С. Образовского и др. Одной из первых теоретических работ в этой области является решение А.Я. Миловича, основанное на анализе схемы потенциального течения. Но выводы, полученные А.Я. Миловичем, не вполне под-

твердились практикой эксплуатации речных затонов.

Более поздние работы, в которых решалась пространственная задача, приблизили теоретические решения к задачам практических расчетов. Не останавливаясь на анализе всех этих работ, можно отметить, что наиболее полным является решение А.С. Образовского, который используя закон динамического равновесия сил, получил теоретическую зависимость для определения обменного расхода между транзитным потоком реки и объемом воды в затоне. При этом обменный расход, геометрические параметры русла на входе в затон и распределение мутности в реке определяют заносимость входных участков и акваторий.

Как показала расчетная вычисляемая толщина слоя аккумулирующихся наносов получается завышенной.

Эти погрешности расчета очевидно возникают в результате определения заносимости по осредненным значениям обменного расхода и мутности потока. Введение в расчет общего выражения величины обменного расхода, скоростей потока и мутностей в точках на вертикалях и последующее интегрирование по глубине позволяют уточнить имеющиеся расчетные зависимости.

Обменный расход определяется турбулентной диффузией в зоне раздела скоростей. Отсюда следует, что в верхних слоях потока обмен водных масс реки и затона будет максимальным, ввиду наличия здесь наибольшего градиента скоростей. При этом расход наносов, поступающих во входную часть затона, будет определяться коэффициентом турбулентного перемешивания и градиентом мутности, достигающим наибольшего значения в нижних слоях потока.

В отличие от метода А.С. Образовского, Е.Н. Грачевым [1] задача решается в дифференциальной форме. Расход поступающих в затон наносов определяется интегрированием дифференциального уравнения его распределения по глубине.

Для получения зависимости, определяющей интенсивность выпадения взвеси в затоне, необходимо также учесть ответвляющее действие входного водоворота. Интенсивность осаждения твердых частиц определяется их гидравлических крупностью, скоростью циркуляции (скоростью движения воды в водовороте), глубиной потока, размерами циркуляционной зоны и таким образом зависит от времени достижения частицами дна и от времени смены объема воды, в котором они находятся. Время выпадения частицы определится положением последней на вертикали и вектором скорости ее падения, то есть скоростью циркуляции в различных точках на вертикали. Скорость циркуляции убывает по глубине потока. Поэтому угол падения будет увеличиваться с их приближением ко дну. Время смены объема воды, в котором находятся данные частицы, можно установить, используя зависимость величины расхода циркуляций от объемного расхода.

На основании изложенного Е.Н. Грачевым получено выражение для расчета поступающего в затон и выходящего из него расхода наносов, для определения интенсивности занесения затонских емкостей с учетом распределения по глубине турбулентной диффузии и мутности

$$\Delta Q_{ТВ} = F(\varphi) L \bar{\rho}_D h \eta_{пред} \int_0^{\eta} \eta^{k_0} \left[ 1 + \frac{k_0^2}{2} (1 - \eta^{2/k_0}) \right] \exp \left\{ \frac{nW}{1-n} \left[ 1 - \left( \frac{1-\eta}{1-\Delta/h} \right)^{n-1} \right] \frac{V_{max}}{hgi(1-\Delta/h)} \right\} d\eta. \quad (1)$$

В плановой постановке, то есть при решении задач о распределении осредненных по вертикали скоростей течения и мутности можно решать путем их последовательного рассмотрения.

Так решение плановой задачи о распределении осредненных по вертикали скоростей решается в соответствии с методикой, разработанной И.А. Шеренковым.

Особенность расчета заносимости ряда речных затонов, в том числе Жатайского затона на реке Лене, является расположение входа в затон на выпуклом берегу. Рассмотренные ранее методы решения задачи по определению заносимости затонов строго говоря решают подобные задачи на прямолинейных участках рек.

На криволинейных участках наблюдается отклонение донных течений от осредненных по глубине, при этом вектор донной скорости отклоняется от вектора осредненной по глубине скорости на угол  $\varphi$  в сторону выпуклого берега. Для построения плана донных течений необходимо знать значение  $\varphi$  по ширине реки.

При  $V/H \leq 20$  можно использовать формулу И.Л. Розовского

$$\operatorname{tg} \varphi = 11H/r, \quad (2)$$



где  $H$  – глубина потока в данной точке;

$r$  – радиус кривизны осредненного течения в данной точке.

Эта зависимость рекомендуется И.Л. Розовским для потоков, у которых отношение средней ширины живого сечения  $B$  к средней глубине  $H$  меньше или равно 20.

Отношение  $B/H$  для судоходных рек составляет более 60.

Построение плана придонных течений осуществляется на базе плана осредненных по глубине в соответствии со схемой, изображенной на рисунке 1.

Для определения угла отклонения  $\varphi$  вектора скорости придонного течения от среднего по глубине направления течения используется формула И.Л. Розовского, которая для рассматриваемой задачи приводит к неправильной оценке положения природных струй.

В связи с этим на основе обработки лабораторных и натуральных данных В.М. Ботвинковым [2] получена зависимость для тангенса угла  $\Phi$  в следующем виде

$$\operatorname{tg} \varphi = \left[ 0,24 + 62 \left( \frac{H}{B} \right)^2 \right] \left( \frac{B}{r} \right)^{2/3} \quad (3)$$

Эта формула дает значения  $\operatorname{tg} \varphi$ , практически эквивалентные с формулой (2) при  $B/H \leq 20$ . Результаты сопоставления расчетных и экспериментальных данных для более широкого диапазона изменения  $B/H$  (до  $B/H = 250$ ) приведены на рисунок 2.

Величина смещения придонной струи от осредненной по глубине линии тока определяется из уравнения

$$\Delta r = -r \Delta \theta \operatorname{tg} \varphi \quad (4)$$

Учитывая выражение (3), получаем

$$\Delta r = -r \Delta \theta \left[ 0,24 + 62 \left( \frac{H}{B} \right)^2 \right] \left( \frac{B}{r} \right)^{2/3} \quad (5)$$

откуда

$$r_1 - r_2 = r \left[ 0,24 + 62 \left( \frac{H}{B} \right)^2 \right] \left( \frac{B}{r} \right)^{2/3} (\theta_2 - \theta_1) \quad (6)$$

где  $\theta$  – центральный угол (см. рисунок 1), рад.

Если такое построение выполнить для ряда вертикалей по всем расчетным сечениям криволинейного участка реки, то получится план донных течений, который и следует использовать при расчете транспорта влечкомых наносов речных затонов и деформаций русла при расчетах заносимости.

Изложенная методика проста и позволяет строить планы донных течений на участках со сложной картиной течения, включая водоворотные зоны.

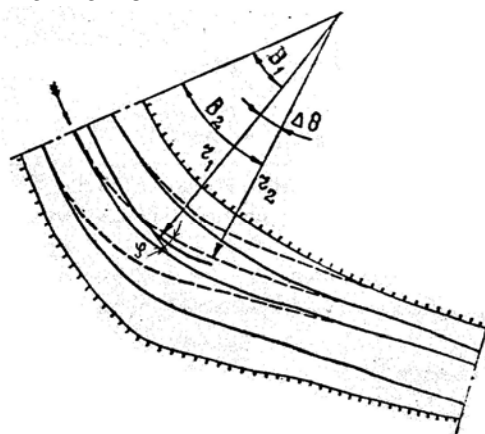


Рисунок 1 – Схема построения плана придонных струй

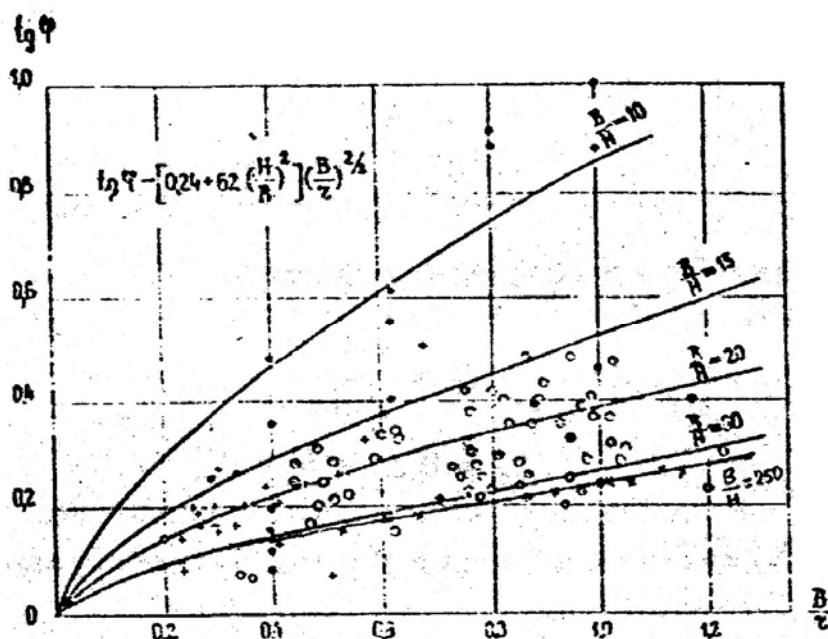


Рисунок 5 – Графические зависимости  $\operatorname{tg} \varphi = f(B/H, B/r)$

Для расчета по гидрологическим данным берется значение твердого расхода, который распределяется по равнорасходным струям.

Тогда общий твердый расход  $Q_T$  будет складываться из полученного значения для взвешенных наносов  $Q_{ТВ}$  (1) и расходы влекомых (данных) наносов  $Q_{ТВД}$ , попадающих в затон

$$Q_T = Q_{ТВ} + Q_{ТВД} . \quad (7)$$

Результаты расчетов Жатайского затона показали, что заносимость на входе в затон в течение навигации составила толщину слоя наносов до 0,62 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Грачев, Е.Н. Речные затоны / Е.Н. Грачев. -М.: Транспорт, 1990, -85 с.  
 2 Ботвинков, В.М. К определению устойчивости землечерпательных прорезей / В.М. Ботвинков // Речная гидравлика и судовождение: ст. науч. тр. Вып. 139 / Новосибирский институт инженеров водного транспорта. -Новосибирск, 1980. -С. 126-129.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** речные затоны, наносы, заносимость  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Седых Наталья Александровна, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## МЕТОДЫ АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ НА СЛОЖНЫХ УЧАСТКАХ РЕК

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Н.В. Голышев, А.В. Ботвинков, А.Ю. Лапай

### METHODS OF THE ANALYSIS OF DISTRIBUTION OF STREAMS ON DIFFICULT SITES OF THE RIVERS

«Novosibirsk state academy of water transport»

N.V. Golishev, A.V. Botvinkov, A.Yu. Lapay

In this article the analysis of the reasons of non-uniqueness of the solution of a problem of calculation of distribution of streams on difficult sites of the rivers is provided. On the basis of the analysis methods of the correct solution of this problem are offered. Results of calculations are given.

*Keywords: section of the river, the distribution of flow*

Приведен анализ причин не единственности решения задачи расчета распределения потоков на сложных участках рек. На основе анализа предложены методы корректного решения данной проблемы. Приведены результаты расчетов.

Известные методы расчета многорукавных участков рек базируются на основе решения систем нелинейных уравнений [1-4]. Анализ таких систем уравнений показывает, что фактически они являются записями, основанными на распространении уравнения движения для установившегося одномерного потока в рукаве на многорукавные участки. При этом потери на преодоление силы трения описываются уравнением Шези для участка русла

$$\Delta z = q^2 f , \quad (1)$$

где  $\Delta z$  – падение уровня свободной поверхности на участке русла;

$q$  – объемный расход;

$f$  – модуль сопротивления участка.

Используя матричную форму записи [9, 10], их можно представить в виде:

$$A \cdot Q = Qin ; \quad (2)$$

$$C \cdot \Delta Z = 0 , \quad (3)$$

где  $A$  – матрица соединений;

$Q$  – вектор неизвестных расходов;

$C$  – матрица независимых контуров;

$\Delta Z$  – вектор падений уровней на элементах (участках русла);

$Qin$  – вектор известных (заданных) расходов.

Следует отметить, что применение уравнения (1) в уравнениях неразрывности потоков и балансов падений уровней (2), (3) иногда приводит к неоднозначным и физически неверным решениям при расчетах многорукавных участков [4-6], которые, однако, являются допустимыми и удовлетворяют системе уравнений (2), (3).

Причиной этого является некорректность распространения уравнения Шези в форме (1)

на многорукавные системы, в которых принятое при расчете за положительное направление расхода может не совпадать с фактическим. В этом случае знак расхода на таком участке становится отрицательным. При этом мощность потерь на нем, определяемая формулой

$$p = q \cdot \Delta z = q^3 \cdot f,$$

также становится отрицательной, что противоречит физическому смыслу, так как любой участок русла является чисто диссипативной системой и должен рассеивать энергию потока. Математически последнее обстоятельство приводит к множеству допустимых решений системы уравнений (2), (3), которые в реальности не реализуются.

Для иллюстрации на рисунке 1, а показаны возможные решения для простейшего четырех узлового участка. Видно, что возможны четыре вектора значений расходов, формально удовлетворяющих системе уравнений (2) и (3).

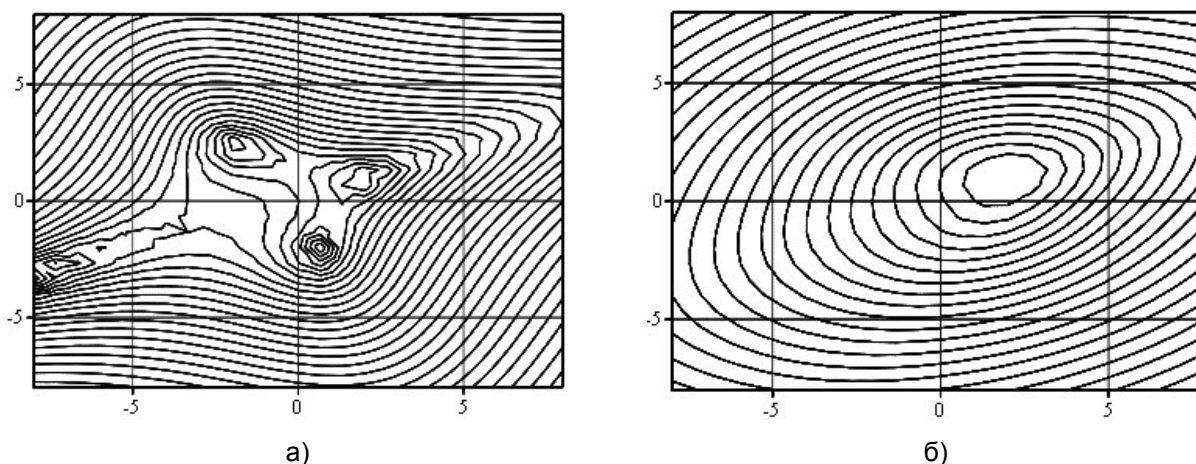


Рисунок 1 – Допустимые формальные решения (а), решение, соответствующее минимуму потерь мощности (б)

Из физического смысла силы трения как силы, направленной противоположно скорости [5, 7], следует, что для корректного распространения уравнения Шези на многорукавные участки его необходимо записать в самосогласованной форме

$$\Delta z = q \cdot |q| \cdot f, \quad (4)$$

либо, что эквивалентно,  $\Delta z = \text{sign}(q) \cdot |q|^2 \cdot f$ .

где  $||$  – знак операции модуля;

$\text{sign}(q)$  – функция, равная 1 при  $q \geq 0$  и (-1) при  $q < 0$ .

Мощность потерь на участке русла

$$p = q \cdot \Delta z = |q|^3 \cdot f.$$

В этом случае при произвольно выбранном положительном направлении движения потоков автоматически соблюдаются корректность знаков падений уровней и знаков потоков и соответственно неотрицательность рассеиваемой на участке реки мощности. После замены (1) на (4) уравнения примут формально вид известных в физике и электротехнике уравнений Кирхгофа для цепи постоянного тока [7, 8, 10].

При этом, сравнивая аналитические соотношения для участка русла и участка цепи постоянного тока, можно установить следующие аналогии:

$z$  – уровень свободной поверхности;

$\varphi$  – электрический потенциал;

$\Delta z = z_1 - z_2$  – падение уровня свободной поверхности на участке русла;

$u = \varphi_1 - \varphi_2$  – падение напряжения на участке цепи;

$q$  – объемный расход;

$i$  – электрический ток;

$x(q) = |q| \cdot f$  – гидравлическое сопротивление;

$r$  – электрическое сопротивление;

$\Delta z = q \cdot |q| \cdot f$  – уравнение Шези;

$u = i \cdot r$  – закон Ома;

$p = q \cdot \Delta z = |q|^3 \cdot f$  – мощность потерь на участке русла;

$p = i \cdot u = i^2 \cdot r$  – мощность потерь на участке цепи.

Таким образом, уравнения для участка русла полностью эквивалентны уравнениям для участка электрической цепи. Соответственно уравнения неразрывности потока и равенства нулю алгебраической суммы падений уровней свободной поверхности по замкнутому пути многорукавного участка русла аналогичны уравнениям для электрических токов в цепях постоянного тока и, по сути, являются системой уравнений Кирхгофа.

При этом для решения задачи расчета распределения расходов, могут быть использованы любые способы их решения. Используя матричную форму записи, уравнения можно представить в виде

$$A \cdot Q = Qin; \quad (5)$$

$$C \cdot \Delta Z = 0, \quad (6)$$

где  $A$  – матрица соединений;

$Q$  – вектор неизвестных расходов;

$C$  – матрица независимых контуров;

$\Delta Z$  – вектор падений уровней на элементах, компоненты которого представлены в виде

$$\Delta z = q \cdot |q| \cdot f;$$

$Qin$  – вектор известных (заданных) расходов.

Учитывая, что граф участка реки является планарным, то есть может быть изображен на листе без пересекающихся ветвей, независимыми будут только элементарные контуры (контуры, не содержащие пересечений) [9, 10].

При заданном векторе модулей сопротивлений участков русла  $F$  уравнения (5) и (6) полностью определяют задачу расчета расходов и падений уровней на многорукавном участке реки. Трудность решения системы (5), (6) состоит в существенной (разложение функции (4) в ряд Тейлора в окрестности точки  $q = 0$  не содержит линейного члена) нелинейности уравнения (6), так как вектор  $\Delta Z$  содержит элементы вида

$$\Delta z_i = q_i \cdot |q_i| \cdot f_i,$$

где  $i$  – номер элемента рассчитываемого участка.

В общем случае аналитического решения задачи получить не удастся. Однако, если топологический граф многорукавного участка русла преобразованиями «последовательно» и «параллельно» может быть приведен к графу типа «дерево» (рисунок 2а), то есть к односвязному графу, между любыми двумя узлами которого имеется единственный путь, аналитическое решение существует и может быть получено свертыванием графа к двухузловому, формулы для расчетов расходов в котором известны и приведены, в частности, в [2-4].

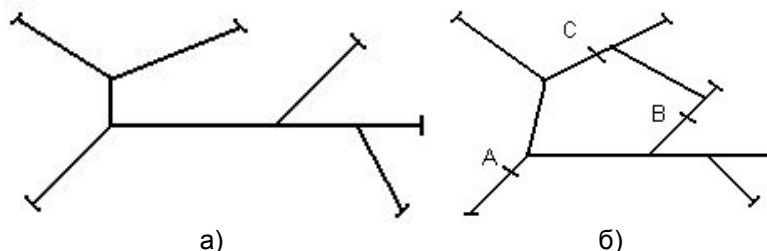


Рисунок 2 – Типичные структуры многорукавных участков русла реки: а)-односвязного; б)-многосвязного

Трудности возникают, если топология многорукавного участка такова, что преобразованиями «последовательно» и «параллельно» граф рассматриваемого участка реки не может быть приведен к структуре типа «дерево» и остается многосвязным (см. рисунок 2б). На практике многосвязные участки часто встречаются на равнинных реках, имеющих множество рукавов с протоками между ними.

$$f_e = \sum_i f_i = \frac{1}{\sum_i \left( \frac{1}{\sqrt{f_i}} \right)^2}.$$

Трудности возникают, если топология многорукавного участка такова, что преобразованиями «последовательно» и «параллельно» граф рассматриваемого участка реки не может быть приведен к структуре типа «дерево» и остается многосвязным (см. рисунок 2б). На практике многосвязные участки часто встречаются на равнинных реках, имеющих множество рукавов с протоками между ними.

В этом случае аналитических решений даже в простейших случаях получить не удастся и приходится прибегать к численным методам решения.

Учитывая установленную аналогию с цепью постоянного электрического тока, расчет

расходов можно проводить, используя не только общецелевые программные системы для математических расчетов (MathCad, MatLab и др. [14]), но и специализированные среды схемотехнического моделирования (P Spice, MicroCap и др. [14, 15]). MicroCap является средой визуального программирования и не требует от пользователя знания матричной алгебры и языка программирования.

Другой, предлагаемый, метод решения задачи расчета распределения расходов основывается на принципе Максвелла [7, 8], из которого следует, что потоки в чисто диссипативной системе распределяются так, чтобы полная мощность потерь, равная сумме потерь во всех ее элементах была минимальной

$$W(Q) = \sum_{m=1}^M q_m \cdot \Delta z_m = \sum_{m=1}^M |q_m|^3 \cdot f_m, \quad (7)$$

где  $M$  – количество участков.

В соответствии с этим принципом распределение расходов в системе является решением задачи поиска условного минимума функции (7) при ограничениях типа равенств (5). Таким образом, в этом методе не требуется составления уравнений для балансов падений уровней в замкнутых контурах русел. Достаточно лишь записать линейные уравнения неразрывности для узлов разветвленного участка реки, которые составляются элементарно.

Учитывая, что многорукавный участок русла реки является системой, имеющей в своем составе только диссипативные элементы, к ней применим также принцип «неусилительности» [9], в соответствии с которым величина любого расхода в системе по абсолютной величине не может превысить величины входного расхода. Это условие дает систему ограничений типа неравенств

$$|Q| \leq \sum_{m=1}^M |q_{in_m}|, \quad (8)$$

где суммирование проводится по всем заданным притокам и оттокам.

Совокупность уравнений (4)-(6) позволяет поставить задачу оптимизации, то есть поиска глобального минимума целевой функции (5) при наличии ограничений типа равенств (4) и неравенств (6)

$$\begin{cases} W(Q) = \sum_{m=1}^M |q_m|^3 \cdot f_m \rightarrow \min_{Q \in S}; \\ S: A \cdot Q = Qin; \\ |Q| \leq \sum_{m=1}^M |q_{in_m}|. \end{cases} \quad (9)$$

Из физических соображений следует, что оптимальный вектор расходов должен существовать и быть единственным. Математическое обоснование единственности решения приведено ниже. Действительно, задача (9) является задачей нелинейного программирования, и для обеспечения существования и единственности решения необходимо выполнение условий Куна-Таккера [12, 13]. Рассмотрим произвольный член функции  $W(Q)$

$$w_i = |q_i|^3 \cdot f_i.$$

Очевидно, что  $w(q_i)$ -выпуклая, четная и неотрицательная функция. Учитывая, что все модули  $f_i$  неотрицательны, получим, что  $W(Q)$ -также выпуклая функция, так как является суммой выпуклых функций с неотрицательными коэффициентами.

Множество допустимых решений  $S$  определяется пересечением плоскостей и  $M$ -мерного куба, являющихся выпуклыми и, следовательно, также выпукло. Выпуклости  $W(Q)$  и  $S$  являются необходимыми и достаточными условиями существования и единственности минимума  $W(Q)$ , который и является глобальным.

Таким образом, значение вектора  $Q$  в точке минимума является искомым решением, дающим распределение расходов по рукавам. Следовательно, способы решения задачи нахождения распределения расходов по рукавам с помощью решения системы уравнений Кирхгофа и минимизации функции потерь математически эквивалентны. Можно показать, что уравнения Кирхгофа являются необходимыми и достаточными условиями глобального минимума функции Лагранжа системы. Таким образом, расчет распределения расходов в многорукавных участках рек можно проводить двумя методами.

Вычислительные аспекты этих методов различаются существенно. Так, для эффектив-

ного решения системы нелинейных уравнений Кирхгофа обычно используются итерационные методы Ньютона-Рафсона, требующие вычисления градиента для расчета матрицы Якоби [10-12]. Однако в силу специфического вида нелинейности гидравлического сопротивления  $x(q) = |q| \cdot f$  эта функция, будучи непрерывной, не является дифференцируемой в классическом смысле (не имеет производной в точке  $q = 0$ ). В силу этого при решении уравнений (5), (6) иногда наблюдаются неустойчивая работа алгоритмов и отсутствие сходимости. Для устранения этого недостатка можно рекомендовать замену выражения для гидравлического сопротивления другим подходящим, удовлетворяющим принципу регуляризации решения [11].

Метод минимизации функции суммарных потерь в вычислительном отношении имеет преимущество, так как в отличие от предыдущего случая в нем используется функция потерь (7), которая, как нетрудно видеть, непрерывна и дважды дифференцируема. Такие благоприятные свойства позволяют применять для поиска минимума эффективные градиентные методы второго порядка, которые обеспечивают быстрое нахождение решения задачи с высокой точностью. Ниже приведены результаты решения задачи определения расходов на участке реки, имеющем 5 узлов. Топологическая структура участка показана на рисунке 3.

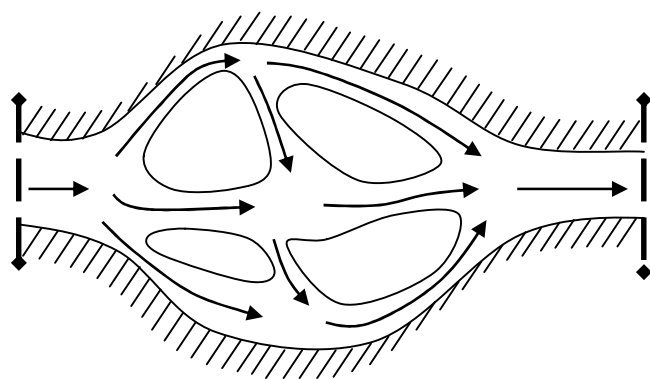


Рисунок 3 – Структура пятиузлового участка русла реки

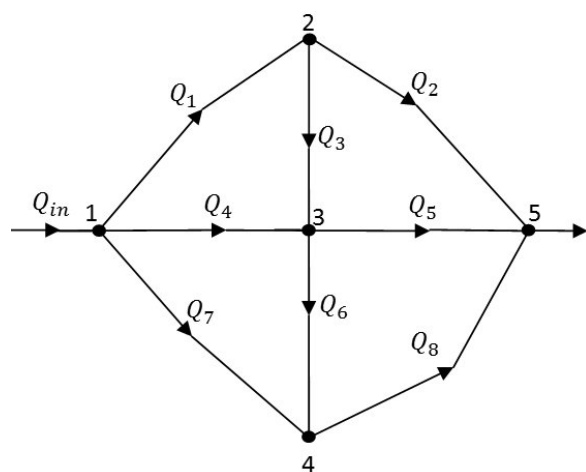


Рисунок 4 – Граф пятиузлового участка русла реки

Граф пятиузлового участка русла реки с указанием принятых положительных направлений расходов и нумерации узлов приведен на рисунке 4.

Расчет проводился методом оптимизации функции потерь системы. Диапазон значений модулей сопротивлений (нормированных относительно наибольшего значения) составлял от 1 до 100. Оценка погрешностей вычислений расходов (нормированных относительно значения входного расхода) и падений уровней на участках проводилась по невязкам уравнений Кирхгофа. В качестве сред программирования использовались MatLab и MathCad. Моделирование показало, что время решения задачи не превышает 1-3 с, а модули значений невязок лежат в пределах  $10^{-4}$ - $10^{-7}$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гришанин, К.В. Теория руслового процесса / К.В. Гришанин. -М.: Транспорт, 1972. -216 с.
- 2 Богомолов, А.И. Гидравлика: учеб. для вузов / А.И. Богомолов, К.А. Михайлов. -М.: Стройиздат, 1972. -648 с.
- 3 Чугаев, Р.Р. Гидравлика: учеб. для вузов / Р.Р. Чугаев. -Л.: Энергоиздат, 1982. -672 с.
- 4 Чернышев, Ф.М. Повышение эффективности путевых работ на многорукавных участках рек / Ф.М. Чернышев. -Новосибирск: Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп., 1973. -324 с.
- 5 Эббот, М.Б. Гидравлика открытого потока. Вычислительная гидравлика: пер. с англ. / М.Б. Эббот. -М.: Энергоатомиздат, 1983. -272 с.
- 6 Прокопьев, В.П. Реконструкция судоходной трассы в зоне якутского транспортного узла на реке Лене с учетом ее урбанизации при завершении строительства Амуро-Якутской магистрали: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.П. Прокопьев. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2007. -17 с.
- 7 Парселл, Э. Электричество и магнетизм: пер. с англ. / Э. Парселл. -М.: Наука, 1975. -334 с.
- 8 Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учеб. для вузов / Л.А. Бессонов. -М.: Высш. шк., 1978. -528 с.
- 9 Карни, Ш. Теория цепей. Анализ и синтез: пер. с англ. / Ш. Карни. -М.: Связь, 1973. -368 с.
- 10 Основы теории цепей: учеб. для вузов / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. -М.: Энергоатомиздат, 1989. -528 с.
- 11 Иванов, В.В. Методы вычислений на ЭВМ: справ. пособие / В.В. Иванов. -Киев: Наук. думка, 1986. -584 с.
- 12 Коршунов, Ю.М. Математические основы кибернетики: учеб. пособие для вузов / Ю.М. Коршунов. -М.: Энергия, 1980. -

424 с.

13 Саати, Т. Целочисленные методы оптимизации и связанные с ними экстремальные проблемы: пер. с англ. / Т. Саати. - М.: Мир, 1973. -302 с.

14 Иглин, С.П. Математические расчеты на базе MATLAB / С.П. Иглин. -СПб.: БХВ-Петербург, 2005. -640 с.

15 Разевиг, В.Д. Система схемотехнического моделирования Micro-Cap / В.Д. Разевиг. -М.: СОЛОН, 1997. -273 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *участок реки, поток, распределение*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Гольшев Николай Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Ботвинков Антон Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

*Лапай Анна Юрьевна, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## **ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ИХ ИСТЕЧЕНИЕ ИЗ ОТВЕРСТИЙ**

**ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»**

**В.Ю. Бессонов**

### **INFLUENCE OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF PETROLEUM PRODUCTS ON LEAKING FROM HOLES**

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.Yu. Bessonov

In this article there are the main results of laboratory experiments connected with the influence of the physical properties of petroleum products on speed of leaking from holes.

*Keywords: oil, petroleum, oil products; spill, hole, accident, flow, viscosity*

Приведены результаты лабораторных экспериментов, связанных с влиянием физических свойств нефтепродуктов на их скорость истечения из отверстий.

Изучение явления истечения жидкости из отверстий выполнялось на гидравлической установке лаборатории НГАВТ. Установка представляет собой резервуар, имеющий малое отверстие в стенке (рисунок 1). Программа испытаний, предусматривает изучение поведения струи жидкости, а так же изменение расхода и коэффициента расхода в зависимости от типа нефтепродукта. Для испытаний было изготовлено три формы отверстий внутреннего типа, различных по своей геометрической форме и площади. Так же для испытаний было отобрано четыре типа различных нефтепродуктов: бензин «АИ-92»; дизельное топливо класса «зимнее»; керосин марки «ТС-1» и сырая нефть сорта «Siberian Light». Данные нефтепродукты были взяты в связи с тем, что их значения вязкости (таблице 1) представляющие широкий диапазон, позволяют более полно дать оценку всем используемым нефтепродуктам [2, 4]. А так же в связи с тем, что именно данные нефтепродукты наиболее часто используются для транспортировки нефтеналивными судами [2, 3].



*Рисунок 1 – Гидравлическая установка для испытаний истечения жидкости из отверстий*

*Таблица 1 – Физические свойства испытываемых жидкостей*

Название	Динамическая вязкость, сСт	Плотность, г/см <sup>3</sup>
Вода дистиллированная	1,01	0,99
Бензин	0,75	0,75
Дизельное топливо	1,70	0,82
Керосин	2,71	0,85
Нефть	9,38	0,91

Перед началом опытов определялась площадь отверстия каждого насадка. В каждой серии испытаний замерялось время заполнения специально резервуара, предназначенного для сбора жидкости, а так же объем его заполнения. Полученное время фиксировалось при помощи секундомера, а уровень заполнения ёмкости нефтепродуктом определялся согласно шкалам, нанесённым на резервуар [1, 5]. Для получения более достоверных результатов каждое испытание состояло из трёх измерений. Результаты измерений представ-

**ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО**

лены в таблице 2.

Расход жидкости через отверстия

$$Q = W/t,$$

где  $W$  – объём жидкости, см<sup>3</sup>;

$t$  – время истечения, с.

Коэффициент расхода

$$\mu = \frac{Q}{\omega\sqrt{2gH}},$$

где  $\omega$  – площадь отверстия, см<sup>2</sup>;

$H$  – напор над центром отверстия, см.

Таблица 2 – Результаты измерений расхода жидкости, при  $H = 6,5$  см

$\omega$ , см <sup>2</sup>	Жидкость	$W$ , см <sup>3</sup>	$t$ , с	$Q$ , см <sup>3</sup> /с	$\mu$	$Q_{cp}$ , см <sup>3</sup> /с	$\mu_{cp}$
1,3	Вода	1350	11,4	118,42	0,807	118,05	0,804
		1300	11,2	116,07	0,791		
		1400	11,7	119,66	0,815		
	Бензин	1300	10,1	128,71	0,877	130,81	0,891
		1350	10,3	131,07	0,893		
		1300	9,8	132,65	0,904		
	Дизельное топливо	1300	12,1	107,44	0,732	108,21	0,737
		1300	12	108,33	0,738		
		1350	12,4	108,87	0,742		
	Керосин	1300	12,9	100,78	0,686	96,63	0,658
		1300	13,9	93,53	0,637		
		1300	13,6	95,59	0,651		
	Нефть	1300	17,4	74,71	0,509	75,09	0,512
		1270	17	74,71	0,509		
		1100	14,5	75,86	0,517		
0,74	Вода	1350	22,9	58,95	0,705	58,85	0,704
		1290	21,9	58,90	0,705		
		1350	23	58,70	0,702		
	Бензин	1300	20,1	64,68	0,774	66,22	0,792
		1400	20,8	67,31	0,805		
		1400	21	66,67	0,798		
	Дизельное топливо	1300	23,5	55,32	0,662	54,63	0,654
		1370	25,2	54,37	0,651		
		1350	24,9	54,22	0,649		
	Керосин	1250	25,5	49,02	0,587	48,86	0,585
		1200	24,7	48,58	0,581		
		1200	24,5	48,98	0,586		
	Нефть	1150	29,4	39,12	0,468	39,27	0,470
		1200	30,3	39,60	0,474		
		1200	30,7	39,09	0,468		
0,19	Вода	1300	98,5	13,20	0,615	13,55	0,631
		1350	99	13,64	0,636		
		1420	102,8	13,81	0,644		
	Бензин	1150	77,5	14,84	0,692	15,21	0,709
		1200	78	15,38	0,717		
		1200	77,9	15,40	0,718		
	Дизельное топливо	1350	110,2	12,25	0,571	12,36	0,576
		1200	97,7	12,28	0,572		
		1300	103,7	12,54	0,584		
	Керосин	1200	109,7	10,94	0,510	10,92	0,509
		1200	109,4	10,97	0,511		
		1100	101,4	10,85	0,506		
	Нефть	1250	143,7	8,70	0,405	8,76	0,408
		1300	147,5	8,81	0,411		
		1350	154,2	8,75	0,408		



Для удобства расчёта коэффициента расхода необходимо составить таблицы поправочных коэффициентов, охватывающие весь диапазон изменения коэффициента расхода для различных нефтепродуктов. Для этого по полученным средним значениям коэффициента расхода каждого из нефтепродуктов, был установлен поправочный коэффициент, позволяющий определить скорость истечения, а так же коэффициент расхода для каждого из нефтепродуктов. Произведя расчёт отношения коэффициента расхода каждого нефтепродукта к значениям, полученным при испытаниях истечения воды из отверстия, были получены значения поправочного коэффициента для каждого из нефтепродуктов. Результаты расчёта, а так же значения поправочного коэффициента приведены в таблице 3.

*Таблица 3 – Значения поправочного коэффициента*

Наименование нефтепродукта	Коэффициент расхода $\mu$ , через отверстие площадью			Поправочный коэффициент
	1,3 см <sup>2</sup>	0,74 см <sup>2</sup>	0,19 см <sup>2</sup>	
Бензин	1,108	1,125	1,124	1,12
Дизельное топливо	0,917	0,929	0,913	0,92
Керосин	0,818	0,831	0,807	0,82
Нефть	0,637	0,668	0,647	0,65

В результате анализа данных, полученных в ходе лабораторного эксперимента было установлено, что скорость истечения различных нефтепродуктов из отверстия различны, а, следовательно, и различны и их коэффициенты расхода. Для этого был получен ряд поправочных коэффициентов, позволяющих установить расход для каждого из нефтепродуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Примеры расчётов по гидравлике: учеб. пособие для вузов / А.Д. Альтшуль, В.И. Калицун, Ф.Г. Майрановский, П.П. Пальгунов; под. ред. А.Д. Альтшуля. -М.: Стройиздат, 1977. -255 с.
- 2 Поконова, Ю.В. Практический справочник по нефтепродуктам / Ю.В. Поконова. -СПб.: Синтез, 2005. -180 с.
- 3 Пучкова, Н.Г. Товарные нефтепродукты, их свойства и применение: справочник / Н.Г. Пучкова. -М., 1971. -413 с.
- 4 Фукс, Г.И. Вязкость и пластичность нефтепродуктов / Г.И. Фукс. -М.; Ижевск: Ин-т компьютер. исслед., 2003. -328 с.
- 5 Чугаев, Р.Р. Гидравлика: учеб. для вузов / Р.Р. Чугаев. -4-е изд., доп. и перераб. -Л.: Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. -672 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** нефть, нефтепродукт, разлив, пробоина, авария, расход, вязкость  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Бессонов Владимир Юрьевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ НОВОСИБИРСКОГО ГИДРОУЗЛА

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**О.В. Спиренкова**

**SEASONAL DYNAMICS OF CHANGES IN WATER QUALITY IN THE DOWNSTREAM OF THE NOVOSIBIRSK RESERVOIR**  
 «Novosibirsk state academy of water transport»  
 O.V. Spirenkova

This paper present dynamics of changes of phenol concentration in Novosibirsk reservoir tail-water, as well as it's dependence of water discharges and water cycle factors.

*Keywords: pollution, phenol, water discharges, water cycle factor*

Рассмотрена сезонная динамика изменения концентраций фенолов в нижнем бьефе Новосибирского водохранилища, а также зависимость ее от сбросов воды и коэффициентов водообмена.

В последние годы особенно актуальной стала проблема качества воды Новосибирского водохранилища и его нижнего бьефа, так как возросло его значение как источника питьевого водоснабжения. Это повлекло более серьезные требования не только к рациональному количественному распределению воды, но и к ее качественному составу, как правило, связанному с интенсивным хозяйственным освоением территорий, прилегающих к водохранилищу.

Формирование качества воды в водохранилищах – процесс сложный, многогранный, зависящий от комплекса разнообразных факторов, связанных с функционированием водных экосистем, с условиями окружающего ландшафта и ложа водоема. Длительные исследова-

ния на водохранилищах Сибири и России в целом свидетельствуют о том, что физико-химические и биологические процессы вызывают изменение качественного состава поверхностных вод как во времени, так и по протяженности водных объектов [1].

Новосибирское водохранилище, расположенное на юге Западной Сибири, – самый крупный искусственный водоем в бассейне верхней Оби. В настоящее время здесь функционирует многоотраслевой водохозяйственный комплекс, основное назначение которого – хозяйственно-питьевое водоснабжение и энергетика. Избежание рисков в водопользовании связано с гарантированной устойчивой обеспеченностью водой (в первую очередь питьевой) всех участников водохозяйственного комплекса при соблюдении экологических условий функционирования водоема.

Проблема питьевого водоснабжения приобрела особую актуальность в связи с почти повсеместным загрязнением поверхностных водных объектов Сибири, используемых в качестве коммунально-питьевых источников воды. Новосибирское водохранилище обеспечивает круглогодичное водоснабжение городов, крупных населенных пунктов и промышленных предприятий Новосибирской области и Алтайского края. Повышение требований к качественному составу воды, как правило, связано с интенсивным селитебным и хозяйственным освоением береговых территорий водохранилища. В связи с более чем 50-летним периодом эксплуатации Новосибирское водохранилище можно рассматривать как полигон для выполнения комплексных исследований сформировавшихся водных экосистем. В первую очередь это касается многолетних изменений гидролого-гидрохимического режима водохранилища [2], которые определяют экологические условия водоема и формирование химического состава воды крупной природно-техногенной системы.

Фенолы и нефтепродукты в течение всего периода существования Новосибирского водохранилища являются приоритетными токсикантами из комплекса изученных органических веществ, загрязняющих водоем. Появление в воде фенолов зависит в основном от техногенных факторов. Натурные исследования на Новосибирском водохранилище проводили в верхней, средней и нижней частях водохранилища, а также в нижнем бьефе ГЭС. В целом наблюдается уменьшение концентрации фенолов от входного створа к плотине. Это можно объяснить, с одной стороны, процессами самоочищения, особенно интенсивно протекающими при летнем повышении температуры воды, а с другой, по-видимому, неравномерным распределением по длине водоема продуктов биохимического распада гидробионтов – источника фенолов [1]. Следует отметить, что в период 1990-1996 гг. содержание фенолов по всей акватории водохранилища превышало ПДК вод рыбохозяйственного значения [3].

Особое внимание следует обратить на концентрации фенолов в нижнем бьефе Новосибирского водохранилища, так как водозаборы города расположены ниже плотины ГЭС, включая насосно-фильтровальные станции №1 и №5. Ранее при исследованиях рассматривалось лишь содержание фенолов в водохранилище в целом, связи между объемами сбросов воды из водохранилища и содержанием фенолов в нижнем бьефе эти исследования не охватывали. На рисунке 1 представлены

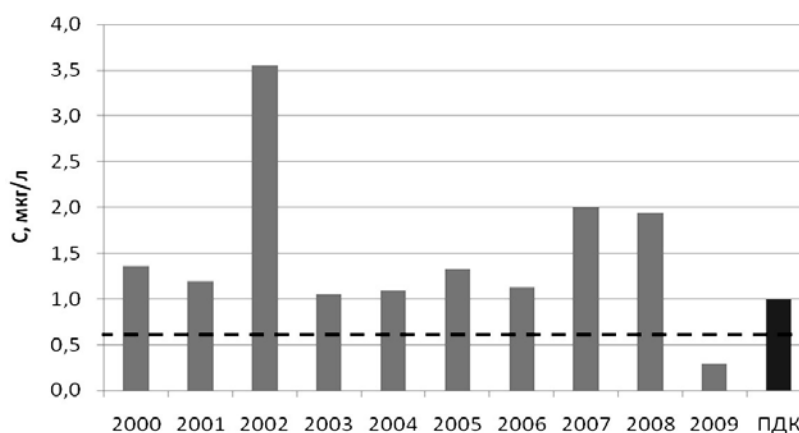


Рисунок 1 – Концентрация фенолов в нижнем бьефе Новосибирского водохранилища

концентрации фенолов в нижнем бьефе за 2000-2009 гг. Анализ данных о показателях качества воды р. Обь в 300 м ниже плотины ГЭС за 2000-2009 гг., полученных Западно-Сибирским центром мониторинга окружающей среды показал, что наибольшее содержание фенолов в воде было установлено в 2002 году (3,6 мг/л), а концентрация фенолов в 2009 году не превышает ПДК. В работе [4], посвященной идентификации фенолов, выявлено наличие в водах водохранилища целого ряда производных этого класса, таких как метил-, диметил- и триметилфенолы, орто- и парахлорфенолы. Последние представляют собой продукты сугубо техногенного происхождения.

Сравнительный анализ гидрологического режима Новосибирского водохранилища за многолетний, годовой и сезонный периоды показывает, что наблюдается увеличение повторяемости маловодных лет и проявление маловодных циклов, состоящих из 2-3 и 4 лет, а также уменьшение водности весеннего сезона. В многолетнем разрезе также происходит постоянное снижение среднегодовой величины водности, уменьшение коэффициента водообмена в водохранилище за весенние сезоны и в целом за год. Среднегодовой коэффициент водообмена за 1990-2006 гг. составил 6,43 при среднемноголетнем за 1959-2006 гг. – 6,62, изменение коэффициентов водообмена в весенние сезоны от 3,03 до 3,11 соответственно [2].

В данной работе для оценки динамики изменения концентраций фенолов в нижнем бьефе во времени использовались данные о сбросах воды по сезонам, а также величины сезонных коэффициентов водообмена. При рассмотрении изменений концентраций фенолов выявлено увеличение их в весеннее и летнее время, прослеживается зависимость между коэффициентами водообмена и содержанием фенолов. При этом увеличение коэффициентов водообмена усиливает загрязнение воды в нижнем бьефе. Например, при коэффициенте водообмена за весенний сезон 2,6 наблюдаем увеличение средней концентрации фенолов до 2,1 мкг/л, что превышает ПДК в 2 раза.

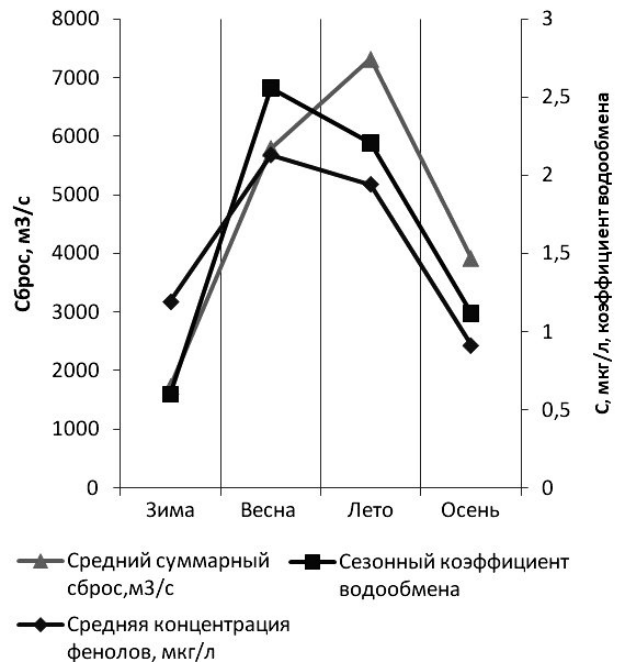


Рисунок 2 – Средний суммарный сброс, сезонные коэффициенты водообмена и средняя концентрация фенолов по сезонам за 2000-2009 гг.

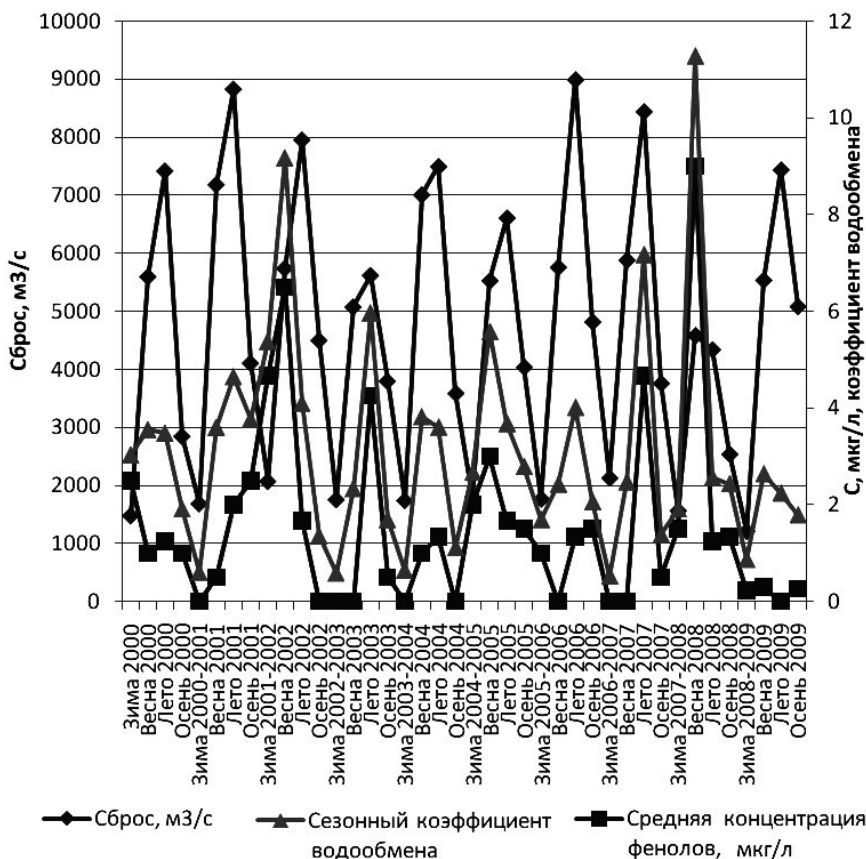


Рисунок 3 – Динамика изменения сбросов воды, сезонных коэффициентов водообмена и концентраций фенолов

Необходимо отметить, что содержание фенолов в воде в нижнем бьефе увеличивается и при повышенных сбросах из водохранилища. Средний суммарный сброс за зимний сезон в 2000-2009 гг. составил 1726,3 м<sup>3</sup>/с, при этом средняя сезонная концентрация фенолов составила 1,19 мкг/л. В дальнейшем, при увеличении сбросов в весенний и летний сезоны (средний суммарный сброс от 5796,2 м<sup>3</sup>/с до 7319,2 м<sup>3</sup>/с соответственно) наблюдалось увеличение содержания фенолов в воде до 2,13 и 1,9 мкг/л, а при уменьшении сбросов в зимний период (3914,5 м<sup>3</sup>/с) концентрация фенолов падала до 0,9 мкг/л.

Автором были отобраны пробы воды на насосно-фильтровальных станциях №1 и №5 в 2009-2010 гг, анализ которых подтвердил результаты исследований по содержанию фенолов в воде нижнего бьефа Новосибирского гидроузла, приведенных выше.

С течением времени (2000-2009 гг.) динамика изменения сбросов воды, сезонных коэффициентов водообмена и концентраций фенолов не изменяется, особенностью является то, что водность года не влияет на содержание этих загрязняющих веществ. Как известно, 2003 и 2008 года были маловодными, объемы стока Верхней Оби составили 40,4 км<sup>3</sup> и 37,9 км<sup>3</sup> соответственно, а в многоводном 2001 году объем стока составил 55,1 км<sup>3</sup>, однако это не повлияло на концентрации фенолов в нижнем бьефе водохранилища (рисунок 3).

Для поддержания качества воды в Новосибирском водохранилище в нормативном состоянии особую актуальность приобретают мероприятия по организации водоохраных зон, содержанию их в надлежащем состоянии, что ограничит поступление в водохранилище загрязняющих веществ с его собственного водосбора.

Таким образом, изменение концентраций фенолов в нижнем бьефе вероятно связано не с водностью года, а с сезонными факторами, в частности сезонными коэффициентами водообмена и сбросами из водохранилища. Необходим постоянный мониторинг за качеством воды в нижнем бьефе содержание фенолов в нижнем бьефе в том числе для того, чтобы не допустить попадание загрязненной воды на насосно-фильтровальные станции Новосибирска, так как при подготовке питьевой воды возможно образование других, более опасных соединений [5].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Двуреченская, С.Я. Исследование изменчивости гидрохимического режима Новосибирского водохранилища / С.Я. Двуреченская // География и природные ресурсы, -№4, -Новосибирск, 2007, -С. 74-79.
- 2 Савкин, В.М. Влияние многолетних изменений гидролого-гидрохимического режима Новосибирского водохранилища на экологические условия водопользования / В.М. Савкин, С.Я. Двуреченская // Сибирский экологический журнал. -2010. -№4. – С. 663-669.
- 3 Савкин, В.М. Эколого-географические изменения в бассейнах рек Западной Сибири (при крупномасштабных водохозяйственных мероприятиях) /В.М. Савкин. -Новосибирск: Наука, 2000.
- 4 Саленко, В.Л. Окружающая среда и экологическая обстановка в Новосибирском научном центре СО РАН / В.Л. Саленко, Т.А. Кизнер, В.Н. Кобрин [и др.] -Новосибирск, Изд-во СО РАН, 1995, -С. 141-148.
- 5 Спиренкова, О.В. Проблема образования хлорфенольных соединений в процессе подготовки питьевой воды (на примере г. Новосибирска) / О.В. Спиренкова, Т.В. Носкова, Т.С. Папина // Научн. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Вост. -2011. -№1. -С. 372-376.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *загрязнение, фенол, сбросы воды, коэффициент водообмена*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Спиренкова Ольга Владимировна, старший преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА СУДНА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ РАЗНОСТЕЙ ВЫСОТ И АЗИМУТОВ ДВУХ СВЕТИЛ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.И. Сичкарёв

### ANALYTIC DETERMINATION OF SHIP'S POSITION BY OBSERVATION OF DIFFERENCE ALTITUDE AND AZIMUTH OF TWO HEAVENLY BODIES

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.I. Sichckarev

Proposed analytic method of determination of observation of ship's position by difference altitude and difference azimuth of two heavenly bodies. The method is contain the system of two equations of spherical trigonometry.

Keywords: observation of ship's position, difference of altitude, difference of azimuth, system of trigonometry equation

Предложен аналитический метод непосредственного определения обсервованных координат по наблюденным величинам разности высот и разности азимутов двух светил. Метод сводится к решению системы двух трансцендентных уравнений, полученных с использованием сферической тригонометрии.

Развитие наземных и космических радионавигационных систем оттеснило в морской и океанской судоводительской практике использование астрономических методов определения места судна в область ретроэкзотики. Однако незаменимость этих методов в особых условиях приводит к необходимости продолжения совершенствования методов астронавигации. Важнейшими направлениями совершенствования на данном этапе нужно считать устранение самых существенных недостатков традиционных методов.

Одним из значительных недостатков практикуемого в настоящее время метода высотных линий положения является необходимость измерения высот светил. Измерения выполняются над видимым горизонтом, что создаёт известные трудности и служит источником основных систематических ошибок. Так, требуется наличие достаточно чёткого видимого горизонта, что ограничивает возможный период наблюдений большинства светил утренними и вечерними сумерками и полностью исключает наблюдения в ночной период.

Препятствием для наблюдений является также наличие низкой туманной дымки, размывающей линию горизонта. Систематическую ошибку, иногда значительную, вносит вводимая поправка высоты за наклонение видимого горизонта относительно топоцентрического. При этом использование секстанов с искусственным горизонтом или измерение зенитных расстояний вместо высот на флоте не прижилось из-за сложности технического средства и необходимости внешнего источника питания прибора.

Отмеченные недостатки в значительной мере устраняются при измерении вместо высот – разности высот двух светил  $\Delta h$  и разности азимутов этих же светил  $\Delta A$ .

Теоретическое обоснование разностно-высотной и разностно-азимутальной линий положения как астрономических изолиний дано в монографии М.И. Гаврюка, [1]. Там же представлен графо-аналитический метод построения разностно-высотной линии положения (РВЛП) и разностно-азимутальной линии положения (РАЛП) с расчётом градиентов этих ЛП и переносов от счислимой точки. Теоретические выкладки позволяют считать наиболее выгодным условием определения места судна по РВЛП и РАЛП одних и тех же светил разность их азимутов, близкую к  $180^\circ$ .

Однако, в [1] не рассмотрен вариант аналитического определения места судна по одновременным наблюдениям разностей высот и азимутов одних и тех же двух светил. Восполним этот пробел с опорой на использование известных формул сферической тригонометрии.

Пусть в момент времени  $T_{ep}$  наблюдаются светила  $C_1(\delta_1, t_{ep1})$  и  $C_2(\delta_2, t_{ep2})$ , между которыми измеряются разность высот  $\Delta h$  и разность азимутов  $\Delta A$ , рисунок 1.

Из сферического треугольника  $C_1PC_2$ , образованного меридианами светил и дугой большого круга  $C_1C_2$ , в котором известны стороны  $90^\circ - \delta_1$ ;  $90^\circ - \delta_2$  и угол между ними  $\Delta t = |t_{ep1} - t_{ep2}|$ , найдём сферическое расстояние между светилами  $\check{C}_1C_2 = d_c$  из

$$\cos d_c = \sin \delta_1 \cdot \sin \delta_2 + \cos \delta_1 \cdot \cos \delta_2 \cdot \cos \Delta t, \quad (1)$$

а также углы между меридианами и основанием  $d_c$  ( $\angle PC_1C_2 = \alpha_1, \angle PC_2C_1 = \alpha_2$ ) по формулам котангенсов

$$\operatorname{ctg} \alpha_1 = \frac{\operatorname{tg} \delta_2 \cdot \cos \delta_1 - \sin \delta_1 \cdot \cos \Delta t}{\sin \Delta t}; \quad (2)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_2 = \frac{\operatorname{tg} \delta_1 \cdot \cos \delta_2 - \sin \delta_2 \cdot \cos \Delta t}{\sin \Delta t}. \quad (3)$$

Из параллактических треугольников  $ZC_1P$  и  $ZC_2P$  находим выражение параллактических углов  $q_1$  и  $q_2$  через известные эфемериды светил в функции от искомым широты  $\varphi$  и долготы  $\lambda$ :

$$\operatorname{ctg} q_1 = \frac{\operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \delta_1 - \sin \delta_1 \cdot \cos t_1}{\sin t_1}; \quad (4)$$

$$\operatorname{ctg} q_2 = \frac{\operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \delta_2 - \sin \delta_2 \cdot \cos t_2}{\sin t_2}, \quad (5)$$

где  $t_1 = t_{\text{сп}1} \pm \lambda_W^E;$  (6)

$$t_2 = t_{\text{сп}2} \pm \lambda_W^E. \quad (7)$$

В зенитном треугольнике  $ZC_1C_2$  теперь можно определить углы  $\gamma$  между вертикалами  $ZC_1, ZC_2$  и основанием  $d_c$

$$\gamma_1 = \angle ZC_1C_2; \quad \gamma_2 = \angle ZC_2C_1.$$

Например, из рисунка 1 следует

$$\gamma_1 = \alpha_1 + q_1; \quad \gamma_2 = \alpha_2 - q_2.$$

Однако, эти соотношения справедливы лишь для геометрического расположения светил, приведённого на рисунке 1. В общем случае возможно множество других взаимных расположений светил, зенита и полюса, приведённых на рисунке 2. В каждом из этих случаев алгебраические выражения для получения углов  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  оказываются различными.

Характерными условиями, различающими геометрическое расположение светил, являются одноимённость или разноимённость часовых углов свети  $t_1$  и  $t_2$ , соотношение между величинами  $t_1$  и  $t_2$ , соотношение между азимутами  $A_1$  и  $A_2$ . Азимуты светил могут быть вычислены для счислимых координат  $\varphi_c, \lambda_c$  по формуле (13).

Для удобства систематизации примем следующий порядок исчисления азимутов и часовых углов: азимуты светил  $A_1$  и  $A_2$  исчисляются в полукруговом счёте ( $0^\circ \leq A_i \leq 180^\circ$ ), часовые углы  $t_1$  и  $t_2$  исчисляются в практическом счёте ( $0^\circ \leq t_i \leq 180^\circ; t^E = 360^\circ - t_W$ ). Для определённости примем также, что индексом «1» будем обозначать более высокое светило, то есть  $h_1 > h_2$ .

Для указанного порядка исчисления  $A$  и  $t$  алгебраические выражения для  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  приведены в таблице 1 (также см. рисунок 2).

Из зенитного треугольника  $ZC_1C_2$  можно получить соотношение, использующее величину  $\Delta A$

$$\cos \Delta A = -\cos \gamma_1 \cdot \cos \gamma_2 + \sin \gamma_1 \cdot \sin \gamma_2 \cdot \cos d_c, \quad (8)$$

а также найти по формуле котангенсов

$$\operatorname{tg} h_1 = \frac{\operatorname{ctg} \gamma_2 \cdot \sin \gamma_1 + \cos \gamma_1 \cdot \cos d_c}{\sin d_c}. \quad (9)$$

Проведём дополнительное построение, образуя равнобедренный сферический треугольник  $ZC_1K$ , в котором стороны

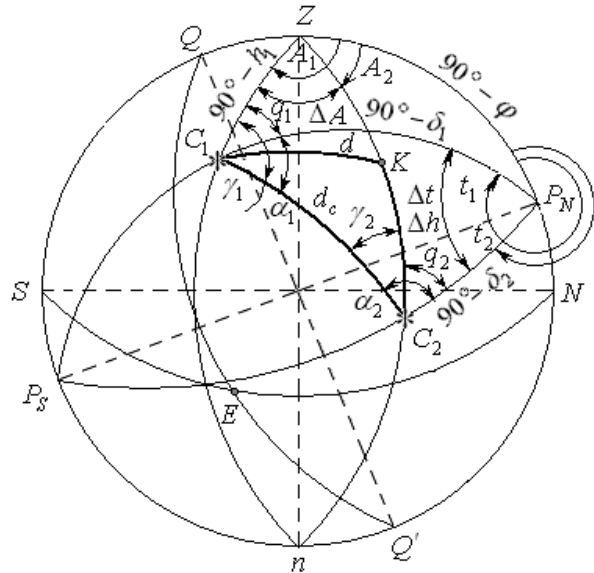


Рисунок 1 – Сферические треугольники, образуемые светилами  $C_1, C_2$ , зенитом наблюдателя  $Z$  и полюсом  $P$  ( $t_1$  одноимён с  $t_2$ ; в круговом счёте  $t_1 > t_2$ ; в практическом счёте  $t_1 < t_2$ ; в полукруговом счёте  $A_1 > A_2$ ):  $\delta$  - склонение светила;  $t_{\text{сп}}$  - гринвичский часовой угол

$$\bar{Z}K = \bar{Z}C_1 = 90^\circ - h_1,$$

и, следовательно, оставшаяся часть стороны  $ZC_2$

$$KC_2 = ZC_2 - ZK = 90^\circ - h_2 - (90^\circ - h_1) = h_1 - h_2 = \Delta h,$$

и найдём из него угол  $ZKC_1 = K$  по формуле котангенсов

$$\text{ctg}K = \frac{\sin h_1(1 - \cos \Delta A)}{\sin \Delta A}. \quad (10)$$

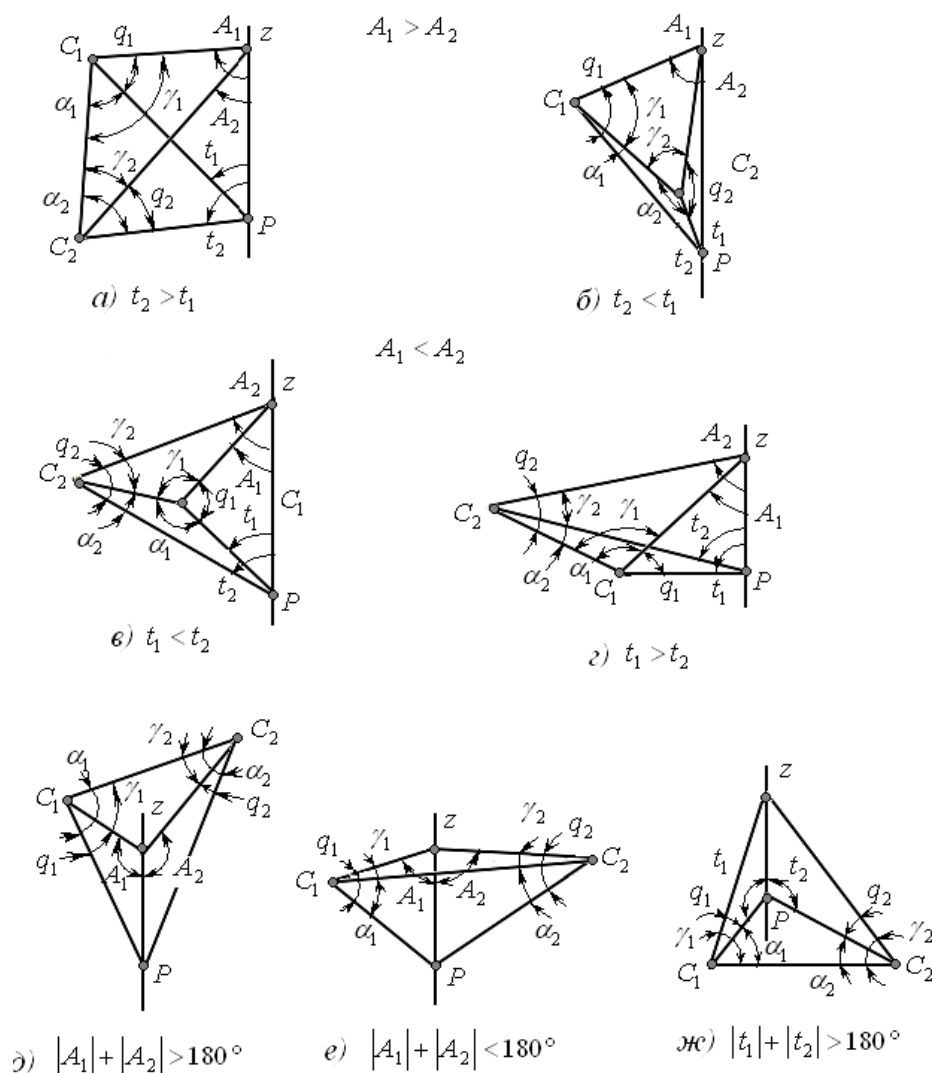


Рисунок 2 – Иллюстрация вариантов взаимного геометрического расположения светил  $C_1, C_2$ , зенита  $Z$ , полюса  $P$

Таблица 1 – Алгебраические выражения для  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  в зависимости от геометрии расположения светил, зенита и полюса ( $0^\circ \leq A_i \leq 180^\circ$ ,  $0^\circ \leq t_i \leq 180^\circ$ )

Углы	$t_1$ одноимён с $t_2$				$t_1$ разноимён с $t_2$		
	$t_2 > t_1$		$t_2 < t_1$		$ t_1  +  t_2  < 180^\circ$		$ t_1  +  t_2  \geq 180^\circ$
	$A_1 > A_2$	$A_1 < A_2$	$A_1 > A_2$	$A_1 < A_2$	$ A_1  +  A_2  > 180^\circ$	$ A_1  +  A_2  \leq 180^\circ$	$ A_1  +  A_2  < 180^\circ$
$\gamma_1$	$q_1 + \alpha_1$	$360^\circ - (q_1 + \alpha_1)$	$q_1 - \alpha_1$	$-q_1 + \alpha_1$	$-q_1 + \alpha_1$	$q_1 - \alpha_1$	$q_1 + \alpha_1$
$\gamma_2$	$-q_2 + \alpha_2$	$q_2 - \alpha_2$	$360^\circ - (q_2 + \alpha_2)$	$q_2 + \alpha_2$	$-q_2 + \alpha_2$	$q_2 - \alpha_2$	$q_2 + \alpha_2$

Из определения равнобедренности треугольника  $ZC_1K$  следует равенство углов  $\angle ZKC_1 = \angle ZC_1K$ , поэтому в сферическом треугольнике  $KC_1C_2$

$$\angle KC_1C_2 = \gamma_1 - K; \quad \angle C_1KC_2 = 180^\circ - K.$$

По формуле синусов

$$\frac{\sin(180^\circ - K)}{\sin d_c} = \frac{\sin(\gamma_1 - K)}{\sin \Delta h},$$

откуда 
$$\sin(\gamma_1 - K) \cdot \sin d_c - \sin K \cdot \sin \Delta h = 0. \quad (11)$$

Таким образом, выстраивается следующий алгоритм – 1 определения искомым координат обсервованного места: по известным эфемеридам светил  $\delta_1, t_{ep1}, \delta_2, t_{ep2}, \Delta t = |t_1 - t_2|$ , вычислив  $d_c$  по (1),  $\alpha_1$  по (2),  $\alpha_2$  по (3), решением системы уравнений: (8) и (11). Расчет  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  согласно таблицы 1, определяются искомые координаты обсервованного места  $\varphi, \lambda$ .

Для улучшения сходимости решения вместо (10) и (11) могут быть составлены и другие выражения.

Можно предложить и другой алгоритм (алгоритм 2) аналитического определения обсервованных координат по разности высот и разности азимутов двух светил, основанный на использовании известных в мореходной астрономии формул  $\sin h$  и  $\text{ctg} A$ :

$$\sin h = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos t_m; \quad (12)$$

$$\text{ctg} A = \frac{\text{tg} \delta \cdot \cos \phi - \sin \phi \cdot \cos t_m}{\sin t_m}, \quad (13)$$

где 
$$t_m = t_{ep1} \pm \lambda_W^E. \quad (14)$$

При ручных вычислениях по (12)-(14) используется довольно много условностей, постепенно вводимых в процесс вычислений, что в итоге позволяет однозначно получить азимут в полукруговом счёте.

Для автоматизации решения трансцендентных уравнений относительно  $\varphi, \lambda$  необходимо эти условности алгоритмизировать с тем, чтобы в итоге представлять азимут в круговом счёте.

В расчётах для широты  $\varphi$  и склонения  $\delta$  принимается следующая система знаков: имеющие северное наименование принимаются положительными, южное – отрицательными.

Для удовлетворения Эйлеровым ограничениям при использовании формул сферической тригонометрии местные часовые углы светил  $t_m$  необходимо переводить в практическую систему счёта с тем, чтобы  $t_m \leq 180^\circ$ . При этом в отдельных случаях часовые местные часовые углы  $t_m^W$  могут оказаться больше  $720^\circ$ , больше  $360^\circ$ , больше  $180^\circ$ , отрицательными. Их преобразование выполняется следующим образом (таблица 2).

*Таблица 2 – Удовлетворения Эйлеровым ограничениям*

Исходное значение	Преобразование	Наименование получаемого $t_m$
более $720^\circ$	$t_m^W = t_m^W - 720^\circ$	<i>W</i>
более $360^\circ$	$t_m^W = t_m^W - 360^\circ$	<i>W</i>
менее $0^\circ$	$t_m^W =  t_m^W $	<i>E</i>
более $180^\circ$	$t_m^W = 360^\circ - t_m^W$	<i>E</i>

Далее для каждого  $i$ -го светила,  $i = 1; 2$ , выполняется расчёт высоты и азимута по формулам:

$$h_{ci} = \arcsin[\sin \phi \cdot \sin \delta_i + \cos \phi \cdot \cos \delta_i \cdot \cos t_{mi}]; \quad (15)$$

$$A_{ci} = \arctg \left[ \frac{\sin t_{mi}}{\text{tg} \delta_i \cdot \cos \phi - \sin \phi \cdot \cos t_{mi}} \right]. \quad (16)$$

Алгоритмизация преобразования счислимго азимута  $A_{ci}$  в круговой счёт  $A_{ki}$  производится следующим образом (таблица 3).

После пересчёта азимутов в круговой счёт систему определяющих уравнений относительно  $\varphi, \lambda$  можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} |h_{c_2} - h_{c_1}| - \Delta h = 0; \\ |A_{k_2} - A_{k_1}| - \Delta A = 0, \end{cases} \quad (17)$$

где  $\Delta h, \Delta A$  – измеренные разность высот и азимутов двух светил.

Сравнение эффективности алгоритма 1 и алгоритма 2 можно провести путём сравнения изменчивости функций, представляющих уравнения систем в соответствующих алгоритмах: – в алгоритме 1 по (8) и (11)



$f_1 = \sin \gamma_1 \cdot \sin \gamma_2 \cdot \cos d_c - \cos \gamma_1 \cdot \cos \gamma_2 - \cos \Delta A$ ;  $f_2 = \sin(\gamma_1 - \kappa) \cdot \sin d_c - \sin \kappa \cdot \sin \Delta h$ ;  
– в алгоритме 2 по (17)

$$f_h = |h_{c_2} - h_{c_1}| - \Delta h; f_A = |h_{\kappa_2} - h_{\kappa_1}| - \Delta A.$$

Таблица 3 – Преобразования счислимого азимута  $A_{ci}$  в круговой счёт  $A_{ki}$

Наименование местного часового угла $t_{mi}$ в практическом счёте	Счислимый азимут $A_{ci}$ по (16)	Наименование $A_{ci}$	Преобразование в круговой счёт $A_{ki}$
W	$A_{ci} > 0$	NW	$A_{ki} = 360^\circ - A_{ci}$
	$A_{ci} < 0$	SW	$A_{ki} = A_{ci} + 180^\circ$
E	$A_{ci} > 0$	NE	$A_{ki} = A_{ci}$
	$A_{ci} < 0$	SE	$A_{ki} = A_{ci} + 180^\circ$

Таким образом, оба алгоритма аналитического определения обсервованного места судна по измерениям разности высот и разности азимутов двух светил сводятся к решению системы двух трансцендентных уравнений. В этом смысле по трудоёмкости они идентичны задаче аналитического определения места судна по измерениям высот двух светил, с тем отличием, что измерение высот ограничено временем сумерек.

Рассмотрим пример для светил  $\varepsilon$  Большой Медведицы и  $\beta$  Кассиопеи на  $T_{ep} = 00.00:00$  03.12.2010 г.; эфемериды светил:

$$\delta_1 = 55^\circ 53',7 N, t_{ep_1} = 238^\circ 05',7 W;$$

$$\delta_2 = 59^\circ 13',0 N, t_{ep_2} = 69^\circ 16',2 W.$$

Для координат места наблюдения  $\phi = 55^\circ 02',0 N$ ,  $\lambda = 82^\circ 55',0 E$  разность высот и разность азимутов светил (аналог обсервованных  $\Delta h$ ,  $\Delta A$ ) составляют  $\Delta h = 41^\circ 46',5$ ;  $\Delta A = 87^\circ 13',5$ .

Задаваясь значениями  $\Delta\phi = \Delta\lambda = \pm 2'; \pm 4'$ , по алгоритмам 1 и 2 можно вычислить значения функций  $f_1, f_2, f_h, f_A$ . Графики этих функций для численных условий примера приведены на рисунке 3.

График позволяет видеть что изменчивость функции  $f_h$  существенно меньше, чем функции  $f_A$ ; для получения численного решения с заданной точностью потребуется значительное увеличение точности промежуточных расчётов. Однако, угол между кривыми  $f_h$  и  $f_A$  в окрестности решения достаточно большой, что скажется на хорошей сходимости решения системы уравнений по алгоритму 2.

В алгоритме 1 изменчивость функций  $f_1$  и  $f_2$  в окрестности решения достаточно большая; угол между  $f_1$  и  $f_2$  меньше, чем между  $f_h$  и  $f_A$ . Это потребует увеличения точности промежуточных вычислений при удовлетворительной сходимости системы.

Таким образом, однозначного преимущества одного алгоритма над другим на данном этапе исследований обнаружить не удаётся.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гаврюк, М.И. Астронавигационные определения места судна / М.И. Гаврюк. -М.: Транспорт, 1973. -176 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** определение местоположения судна, разность высот, изменение азимута, система уравнений сферической тригонометрии

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Сичкарев Виктор Иванович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

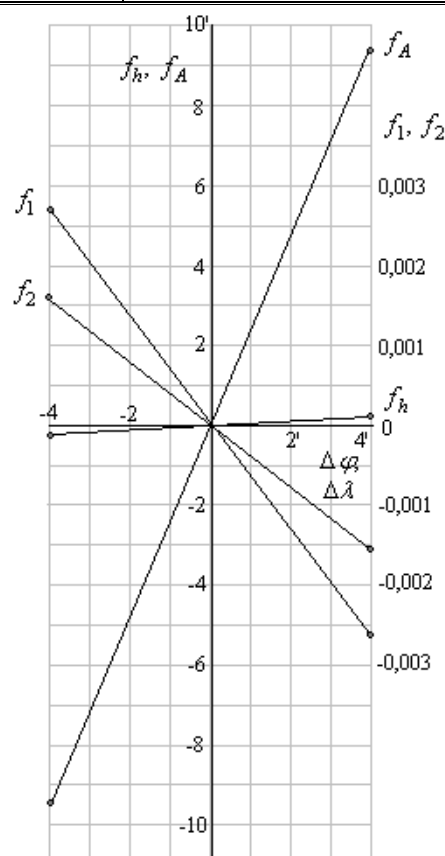


Рисунок 3 – Изменчивость определяющих функций  $f_1$  (8),  $f_2$  (11) и  $f_h, f_A$  (17) в окрестности  $\pm \Delta\phi, \Delta\lambda$  решения по примеру

## АВАРИЙНОСТЬ СУДОВ ДЛЯ СЛУЧАЯ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»

В.В. Ишков, Д.А. Варлачев, В.И. Меньшиков

### ACCIDENT RATE OF SHIPS FOR A CASE OF INTERCONNECTED RUNNING FACTORS

«Murmansk state technical university»

V.V. Ishkov, D.A. Varlachev, V.I. Menshikov

Results of continued investigations on the increase of validity of the control of navigation information are presented in the given article. A solution of a task of comparison of the accident rate and selection of the components of its increment which are caused by different factors is suggested.

*Keywords: indicator of accident rate, factor, operation, structure*

Представлены результаты продолжения работы в области повышения достоверности контроля навигационной информации. Предложено решение задачи сравнения показателя аварийности и выделения компонентов его приращения, обусловленных различными факторами.

Судоходство, как и большинство других областей деятельности людей, сопряжено с различными рисками. Судовой персонал постоянно или почти всегда принимает решения на базе собственного опыта, сопряженные с различным уровнем рисков. Управление рисками, часто используемое в судовых системах управления безопасностью, реализуется в виде принятия решений на базе как оценок рисков, так и комплексного учета различных факторов. Поэтому при самооценке функционирования систем безопасной эксплуатации судов часто возникает задача сравнения показателя аварийности и выделения компонентов его приращения, обусловленных различными факторами. Решение такой задачи может составить одно из направлений при проведении самооценки систем безопасности судов компании, поскольку имеемый в настоящее время уровень формализации таких задач не всегда полностью обеспечивает требования теоретических и прикладных исследований [1].

Из теории факторного анализа следует, что совокупности факторных и результативных признаков, связанных причинно-следственными связями, способны образовать факторную систему. При этом моделью факторной системы, как правило, является математическая зависимость, выражающая реальные связи между анализируемыми явлениями, в наиболее общем виде. В рамках факторного анализа математическую модель аварийности компании судов можно представить следующей системой:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

где  $y$  – результативный признак (аварийность судов компании);

$x_1, x_2, \dots, x_n$  – факторные признаки, включая физико-морфологические характеристики района плавания, интенсивность судового потока и регламент плавания, а также технические отказы, организационные сбои и ошибки «человеческого фактора».

Рассмотрим ситуацию, когда исследуемый показатель аварийности  $y$  в модели (1) является известной функцией других показателей, рассматриваемых как факторы его изменения. Совокупность значений факторов при изменении времени в пределах заданного промежутка эксплуатации судна образует кривую  $L$  в пространстве  $R^m$ . При этом необходимо исследовать приращение результирующего показателя аварийности судов компании, полученное при изменении факторов вдоль указанной кривой, причем для этой цели используется выражение, записанное так

$$\Delta y = \int_L dy = \sum_i (\partial y / \partial x_i) dx_i \quad (2)$$

Традиционно для решения такой задачи (2) используется метод цепных подстановок, в котором факторы получают приращения последовательно и каждому из них приписывается часть приращения, получаемая при фиксированных (начальных или соответственно конечных) значениях остальных. Пусть результирующий фактор аварийности компании  $y$  зависит от факторов  $x = (x_1, \dots, x_m)$  известным образом

$$y = f(x_1, \dots, x_m) = f(x), \quad (3)$$

причем значения факторов изменяется с течением времени на отрезке  $[t_0, t_1]$ , образуя в пространстве  $R^m$  известную кусочно-гладкую кривую  $L$ .

В общем виде на факторы могут быть наложены уравнения связи

$$\Phi(x) = [\Phi_k(x_1, \dots, x_m)] = 0 \text{ при } k = (1, M). \quad (4)$$

В последнем случае система уравнений связи (4) предполагается не противоречивой, а кривая  $L$ -лежащей на поверхности, определяемой (4).

Для оценки аварийности на судах компании, получаемой в процессе самооценки, следует определить или вектор  $\Delta z[x | \Phi, L]$ , или скаляр  $\Delta z[\{\Psi\} | \Phi, L]$ . При этом каждая координата вектора  $\Delta z[x | \Phi, L]$  может рассматриваться как часть приращения результирующего показателя, обусловленная изменением фактора  $x_i, i = (1, m)$ . В тоже время величину скаляра  $\Delta z[\{\Psi\} | \Phi, L]$  следует рассматривать как приращение результирующего фактора, обусловленного совместным изменением набора функций  $\Psi_j(x), j = (1, l)$  от факторов, заданных так

$$\Psi(x) = [\Psi_j(x_1, \dots, x_m)] \text{ при } j = (1, l).$$

Предложенная постановка задачи по самооценке аварийности судов компании формулируется в некоторой фиксированной системе координат, обладающей «естественными» свойствами ортогональности. Эта ортогональность должна быть обусловлена выбором факторных признаков  $x_i$  и единиц их измерения. Такой подход позволяет сформулировать основные положения в замкнутом виде с использованием обобщенных обратных матриц [2].

Задача построения вектора  $\Delta z[x | \Phi, L]$  или скаляра  $\Delta z[\{\Psi\} | \Phi, L]$  называется линейной задачей, если все функции, входящие в нее, определены в рамках линейной алгебры

$$y = f(x) = a_0 + a^T x;$$

$$\Phi(x) = B_0 + B^T x = 0;$$

$$\Psi(x) = C_0 + C^T x,$$

где  $a_0$  – действительное число,

$$a = (a_1, \dots, a_m)^T; B_0 = (B_{10}, \dots, B_{M0})^T; C_0 = (C_{10}, \dots, C_{l0})^T; x = (x_1, \dots, x_m);$$

$B$  – матрица размерности  $(m \times M)$ ;

$C$  – матрица размерности  $(m \times l)$ ;

$T$  – знак транспонирования;

$L$  – прямолинейный отрезок,

$$L = \{x(t), t \in [t_0, t_1]\}.$$

При изменении факторов вдоль кривой  $L$  функция  $y$  получает приращение

$$\Delta y = y(t_1) - y(t_0) = a^T \Delta x = \sum_{i=1}^m a^T \Delta x^i = a_1 \Delta x_1 + \dots + a_m \Delta x_m, \quad (5)$$

где

$$\Delta y = y(t_1) - y(t_0), \Delta x^{(i)} = (0, \dots, 0, \Delta x_i, 0, \dots, 0)^T.$$

Формула (5) может рассматриваться как решение линейной задачи разложения приращения  $\Delta y$  при отсутствии уравнений связи, поскольку каждое слагаемое зависит только от одного фактора и каждый фактор получает приращение независимо от остальных.

Однако при самооценке состояния аварийности на судах компании не исключена возможность, что в качестве факторов будут выбраны такие, которые связаны между собой уравнениями связи. Рассмотрим линейную задачу с уравнениями связи, когда по условию  $\Phi(x) = 0$  при  $x \in L$  и приращение вектора факторов  $\Delta x$  удовлетворяет условию

$$B^T \Delta x = 0.$$

Или, другими словами, вектор  $\Delta x$  принадлежит ортогональному дополнению  $L_{TB}$  к подпространству  $L_B$ , порожденному столбцами матрицы  $B$

$$\Delta x = (E - BB^+) \Delta x,$$

где  $E$  – единичная матрица.

В рассматриваемой ситуации изменение даже одного фактора  $x_i$  может повлечь за собой изменения всех или некоторых остальных в силу наличия уравнений связи. Для учета взаимосвязи факторов интерпретируем формулу (5) следующим образом. Исследуем сна-

чала не приращение самой функции  $y$ , а приращение ее аргумента  $x$ . Последнее при отсутствии уравнений связи естественным образом разлагается на компоненты, каждый из которых обусловлен только одним фактором

$$\Delta x = \sum \Delta x^{(i)} \text{ при } i = (1, m).$$

Тогда можно утверждать [3], что если подобное разложение получено для вектора  $\Delta x$ , то для построения разложения  $\Delta y$  достаточно каждое слагаемое умножить скалярно на вектор  $a$ -градиент функции  $y = f(x)$ . Исходя из этого утверждения, далее построим сначала разложение приращения вектора факторов  $\Delta x$  при наличии уравнений связи.

Пусть  $\Delta x[i, \Phi]$  есть часть вектора  $\Delta x$ , обусловленная изменением  $i$ -го фактора при наличии уравнений связи. Естественно потребовать, чтобы величина  $\Delta x[i, \Phi]$  явно зависела только от  $\Delta x^{(i)}$ , совпадала с последней, если  $\Delta x^{(i)} \in L_{TB}$  (что обобщает случай отсутствия уравнений связи, когда  $L_{TB} \in R^m$ ), и, наконец, чтобы

$$\Delta x[i, \Phi] = 0,$$

если  $\Delta x^{(i)} \notin L_{TB}$ , так как в этом случае соответствующая часть вектора факторов будет погашена уравнениями связи и не вызовет изменения результирующего показателя аварийности судов компании.

Потребуем также, чтобы величина  $\Delta x[i, \Phi]$  была значением некоторого линейного оператора  $P_\Phi$ , зависящего от вида уравнений связи. Тогда, обобщая рассуждения, можно прийти к следующему результату. Если разложить пространство  $R^m$  в прямую сумму подпространств  $L_B$  и  $L_{TB}$ , то

$$\begin{aligned} \Delta x[i, \Phi] &= P_\Phi(\Delta x^{(i)}); \Delta x^{(i)} = \Delta x_{TB}^{(i)} + \Delta x_B^{(i)}; \\ P_\Phi(\Delta x_{TB}^{(i)}) &= \Delta x_{TB}^{(i)}; P_\Phi(\Delta x_B^{(i)}) = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Из (6) следует, что оператор  $P_\Phi$  является оператором проектирования на подпространство  $L_{TB}$ , то есть

$$[i, \Phi] = P_\Phi(\Delta x^{(i)}) = (E - BB^+) \Delta x^{(i)}.$$

С точки зрения безопасной эксплуатации судов в компании, проведенные построения можно интерпретировать следующим образом. Уравнения связи факторов отражают закономерности, которые не должны нарушаться в течение всего процесса изменения факторов вдоль кривой  $L$ . Приращения факторов, ортогональные  $L_{TB}$ , противоречат этим закономерностям. Так, например, если  $x_1, \dots, x_n$ , а величины  $p \leq m$ -удельные веса аварийности отдельных судов в общем показателе аварийности компании, то уравнение связи можно записать так

$$\sum x_i = 1 \text{ при } i = (1, p).$$

Такая связь означает, что, при анализе влияния факторов на показатель аварийности, в компании не может существовать эксплуатируемых судов, кроме тех, которые включены в систему анализа.

При изменении структуры СУБ компании часть вектора  $\Delta x$ , лежащая в  $L_{TB}$ , определяется условием

$$\sum x_i = 0, \text{ при } i = (1, p),$$

из которого следует, что в новой структуре СУБ сумма удельных весов аварийности отдельных судов в общем показателе аварийности компании по-прежнему равна единице. В то же время компонент, лежащий в  $L_B$ , будет определяться уравнением

$$\Delta x_i = \text{Const},$$

что, в содержательном смысле, означает одновременное увеличение (или уменьшение) удельных весов аварийности отдельных судов в общем показателе аварийности компании. Такое заключение достаточно сомнительно.

С формальной точки зрения правомочность проведенных построений может быть подтверждена равенством

$$\Delta x = (E - BB^+) \Delta x = (E - BB^+) \sum_{i=1}^m \Delta x^{(i)} = \sum_{i=1}^m (E - BB^+) \Delta x^{(i)} = \sum_{i=1}^m \Delta x[i, \Phi],$$

которое показывает, что предлагаемая модификация разложения  $\Delta x$  не приводит к потере или приобретению каких-либо компонентов вектора. Приведенные рассуждения опираются на постановку задачи в фиксированной системе координат с естественно заданным скалярным произведением.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Адамов, В.Е. Факторный индексный анализ. Методология и проблемы / В.Е. Адамов. -М.: Статистика, 1976.
- 2 Алберт, А. Регрессия, псевдоинверсия и рекуррентное оценивание / А. Алберт. -М.: Наука, 1977.
- 3 Шеремет, А.Д. Метод цепных подстановок и совершенствование факторного анализа экономических показателей / А.Д. Шеремет, Д.Г. Дей, В.Н. Шаповалов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Экономика. -1971. -№4. -С. 62-69.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *показатель аварийности, фактор, эксплуатация, структура*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Ишков Виктор Валентинович, аспирант ФГБОУ ВПО «МГТУ»*  
*Варлачев Дмитрий Александрович, аспирант ФГБОУ ВПО «МГТУ»*  
*Меньшиков Вячеслав Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «МГТУ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13, ФГБОУ ВПО «МГТУ»*

## **АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММЫ УПРАВЛЯЕМОСТИ СУДНА**

**ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»**

**В.В. Саленек**

**ALTERNATIVE WAY OF CREATION OF THE CHART OF CONTROLLABILITY OF THE VESSEL**  
**«Novosibirsk state academy of water transport»**  
V.V. Salenek

To be brought a way of creation of charts of controllability of a vessel not by results of the decision of system of the equations describing curvilinear movement of a vessel, and use of functional dependence received by the author.

*Keywords: controllability, drift corner, falling of speed, circulation radius*

Приводиться способ построения диаграмм управляемости судна не по результатам решения системы уравнений, описывающих криволинейное движение судна, а использованием функциональной зависимости полученной автором.

Прежде чем приступить к изложению основного материала, сделаем несколько предварительных замечаний:

1 Из практики расчёта и построения диаграмм управляемости одиночного судна известно, что графики зависимостей  $\Theta = f(\alpha_r)$ ,  $\Omega = f(\alpha_r)$ , и  $\Theta = f(\alpha_r)$ ,  $\beta = f(\alpha_r)$  пересекаются. Причём, первая пара графиков зависимостей пересекаются всегда, а вторая – почти всегда. Это значит, что в точке пересечения (при определённом угле перекладки руля)  $\Theta = \Omega$ , а во втором случае:  $\Theta = \beta$ . Особенно это ясно видно при одинаковом масштабе шкал, выбранном для  $\Theta$ ,  $\Omega$  и  $\beta$ .

2 Пересечение графиков зависимостей  $\Theta = f(\alpha_r)$  и  $\Omega = f(\alpha_r)$  происходит при  $\Theta = \Omega \cong 0,61$ , как это видно из осреднённой экспериментальной зависимости  $\Theta = f(\Omega)$ , приведённой в [1, 2].

3 Подобной зависимости для  $\Theta = f(\beta)$  нет, но она может быть легко получена из «совмещения» зависимостей  $\Theta = f(\Omega)$  и  $\beta = f(\Omega)$ . Вторая из них называется корпусной диаграммой [2]. Получена эта зависимость в результате совместного решения уравнения поперечных сил и уравнения корпусных моментов при движении судна на установившейся циркуляции и не зависит (как оказалось) от усилий на рулевом органе, а зависит только от соотношения корпусных усилий, отсюда и произошло её название.

Такая работа была выполнена автором. Ниже приводятся её результаты (таблица). График зависимости  $\Theta = f(\beta)$  приведен на рисунке 1.

Из приведённого рисунка видно, что пересечение графиков зависимостей  $\Theta = f(\alpha_r)$  и  $\beta = f(\alpha_r)$  (на диаграмме управляемости) происходит при значении  $\Theta = \beta \cong 0,42$ . Причём, как видно из таблицы, это пересечение происходит при  $\Omega = 1$ , что полностью согласуется с вы-

водами автора, полученными в [3].

4 Учитывая из [3], что

$$\beta = \Theta \cdot \Omega, \quad (1)$$

угол дрейфа, соответствующей точке пересечения  $\Theta = f(\alpha_r)$  и  $\Omega = f(\alpha_r)$  с учётом  $\Theta = \Omega$  можно подсчитать по выражению

$$\beta = \Theta^2 = \Omega^2 = 0,61^2 = 0,37. \quad (2)$$

5 Таким образом, как видно из предыдущего для каждой из зависимостей  $\Theta = f(\alpha_r)$ ,  $\Omega = f(\alpha_r)$  и  $\beta = f(\alpha_r)$  имеется по три конкретные величины (включая начало координат для  $\beta$  и  $\Omega$ , а также значение  $\Theta = 1$  при  $\alpha_r = 0$ ), которые могут быть нанесены на поле диаграммы управляемости судна при соответствующих углах перекладки рулевого органа.

6 Соответствующий угол перекладки рулевого органа может быть определён по выражению [4]

$$\alpha_r = \chi_n (\beta + \chi \cdot \Omega), \quad (3)$$

где  $\chi_n$  – суммарный коэффициент влияния корпуса и движителя на рулевой орган

$$\chi_n = \ell / L,$$

$\ell$  – отстояние ДРК от центра тяжести судна.

Для одиночного судна на ровном киле

$$\ell = 0,5L.$$

Проведём построение диаграммы управляемости (с учётом предварительных замечаний) для судна, расчёт диаграммы которого произведён в [2].

Диаграмма приведена на рисунке 2.

Из рисунка видно, что зависимости  $\beta = f(\alpha_r)$  и  $\Theta = f(\alpha_r)$ , полученные: а) через решение уравнений движения и б) путём использования (в конечном счёте) выражения  $\beta = \Theta \cdot \Omega$  почти совпадают. Что касается некоторого различия для  $\Omega = f(\alpha_r)$  для обсуждаемых способов построения диаграммы управляемости, то оно наиболее существенно при малых перекладках рулевого органа. Очевидно, тот факт, что экспериментальное определение корпусных усилий при малых углах дрейфа (при малых углах перекладки рулевого органа) сопряжён с очевидными трудностями и наибольшим образом сказывается на точности теоретического определения безразмерной угловой скорости при этих углах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Павленко, В.Г. Маневренные качества речных судов / В.Г. Павленко. -М.: Транспорт, 1979. -183 с.  
 2 Ходкость и управляемость судна /под ред. В.Г. Павленко. -М.: Транспорт, 1991. -397 с.  
 3 Саленек, В.В. Новый подход к описанию движения судна на установившейся циркуляции / В.В. Саленек // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№2. -С. 438.  
 4 Саленек, В.В. К расчёту корпусной характеристики судна (приглашение к дискуссии) / В.В. Саленек // Судовождение-2010: сб. науч. тр. / Новосибир. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2010. -С. 150.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** управляемость, угол дрейфа, падение скорости, радиус циркуляции

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Саленек Валерий Владимирович, канд. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Таблица – К определению зависимости  $\Theta = f(\beta)$

$\Omega$	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20
$\Theta$	0,95	0,80	0,60	0,52	0,42	0,35
$\beta$	0,15	0,25	0,32	0,39	0,43	0,47

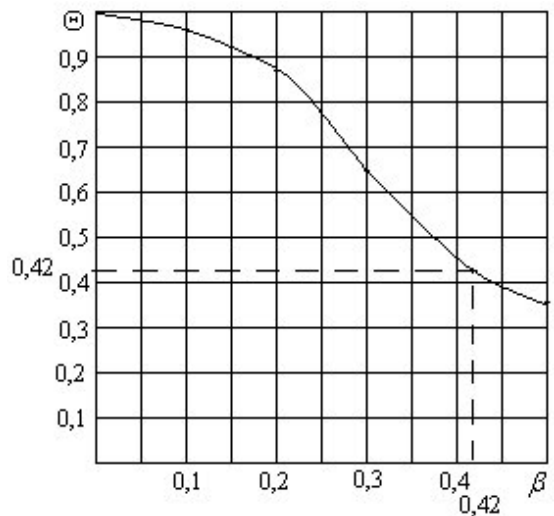


Рисунок 1 – Зависимость  $\Theta = f(\beta)$

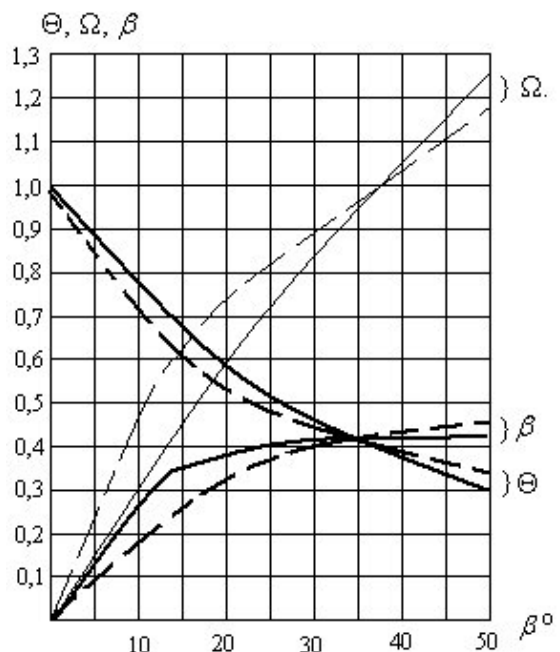


Рисунок 2 – Сравнение диаграмм управляемости, построенных двумя способами: пунктирная линия-по Павленко В.Г.; сплошная линия-по Саленек В.В.

## ПРОЕКТНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ УРАВНЕНИЯ «МОЩНОСТИ-ХОДКОСТИ» ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА СКОРОСТНОГО СУДНА ИЗ КОМПОЗИТОВ

АОЗТ «Нептун-Судомонтаж»

М.Э. Францев

THE PROJECT'S ANALYSIS OF DIFFERENT FORMS OF THE EQUATION, «POWER-PROPULSION» DURING THE DRAFTING OF HIGH-SPEED VESSEL FROM COMPOSITES

«Neptun-Sudomontazh»

M.E. Frantsev

The article is about the mode of project analysis of different forms of the equation «Power-propulsion». The equation includes the full weight of the vessel, its power and speed in different forms. This analysis is based on calculations made on the basis of databases of various courts of the composites.

*Keywords: design of vessels from composite materials, equations, gross weight, power, speed*

Показан способ проектного анализа различных форм уравнения «Мощности-Ходкости», в которые в явном виде входят полная масса судна, его мощность и скорость. Анализ опирается на расчеты, выполненные на основании баз данных различных судов из композитов.

При проектировании современного скоростного глиссирующего судна служебно-разъездного и прогулочного назначения, в том числе из композиционных материалов, одним из центральных вопросов проектирования является определение его ожидаемых скоростных качеств. Расчет сопротивления движению и определение потребной мощности двигателей является одной из важнейших задач при проектировании судна. На ранних этапах проектирования, когда многие элементы судна еще не определены, используются приближенные способы определения сопротивления судна. В дальнейшем для этих целей, как правило, используются результаты модельных испытаний. Этот этап существенно удорожает проект судна. В настоящее время имеется достаточно большое количество результатов модельных испытаний быстроходных судов. С помощью метода Фруда они могут быть пересчитаны на натурное судно.

Известно, что практические вычисления по результатам проведенных испытаний в некоторых случаях приводят к принципиальным противоречиям или к существенным искажениям. Поэтому актуален поиск путей, которые бы позволили с достаточной степенью надежности прогнозировать при проектировании ожидаемые скоростные характеристики быстроходных судов, основываясь не только на уже существующих или специально полученных результатах модельных испытаний.

Известно, что вопросы ходкости на определенном этапе проектирования могут быть решены не только за счет использования гидродинамических методов, но, в большой степени, за счет рационального выбора всех элементов судна и, в первую очередь, правильным выбором его главных размерений, характеристик движительно-рулевого комплекса, оптимальным соотношением его полной массы и мощности главных двигателей.

Представляет интерес вид уравнения «Мощности – Ходкости», в которое полная масса судна, мощность его главных двигателей и развиваемая судном скорость при развитии волнообразовании, входят в явном виде и связаны между собой зависимостью вида

$$N = \frac{D^m V^n}{C_{mn}}, \quad (1)$$

где  $N$  – мощность главных двигателей;

$D$  – водоизмещение судна;

$V$  – скорость судна;

$C_{mn}$  – коэффициент мощности, определяемый по близкому прототипу или путем анализа баз данных по сходным судам.

Одним из наиболее широко известных вариантов этой зависимости является Адмиралтейская формула

$$N = \frac{D^{2/3} V^3}{C_a}, \quad (2)$$

где  $C_a$  – адмиралтейский коэффициент.

В [1] указано, что для оценки изменения мощности при изменении скорости отдельного судна (при неизменных его размерах и форме) формула адмиралтейских коэффициентов с постоянным значением  $C_a$  не позволяет получить правильного ответа. В работе [3] указывается, что адмиралтейский коэффициент представляет собой симплекс ряда трудно учитываемых величин, в том числе, пропульсивного коэффициента. Адмиралтейский коэффициент изменяется в довольно широком интервале и пригоден в качестве использования коэффициента подобия только для очень близкого прототипа при изменении скорости не более чем на 3-4%.

Обработывая статистические данные по морским транспортным судам, английский инженер Эйр (Ayre) предложил формулу с меньшим влиянием полной массы судна на мощность, понизив показатель  $m = 0,67$  до величины  $m = 0,64$ . Известны формулы Афанасьева, Давыдова, Энсли. Из современной зарубежной практики проектирования скоростных судов известны формулы Crouch, Levi, Reyes и других.

В соответствии с [3, 4] для скоростных судов типа глиссеров зависимость (1) приобретает вид

$$N = \frac{DV}{C_{\text{скор}}}, \quad (3)$$

где  $C_{\text{скор}}$  – коэффициент.

Можно привести еще одну зависимость между величинами полной массы, скорости и мощности. В отличие от адмиралтейского коэффициента скорость в эту формулу входит в первой степени, а величина смоченной поверхности корпуса, как и в формуле адмиралтейских коэффициентов, учитывается показателем  $2/3$  у величины полной массы. Мощность при этом может быть выражена как

$$N = \frac{VD^{2/3}}{C_f}, \quad (4)$$

где  $C_f$  – коэффициент.

В качестве одного из способов определения этих коэффициентов может быть использована обработка баз данных существующих катеров и малых судов из композиционных материалов служебно-разъездного назначения, содержащих большое количество характеристик  $D, N, V$ , с использованием методов регрессионного анализа. Более подробно эти вопросы рассматриваются в работе [2].

Для идентификации взаимосвязи между полной массой судна его мощностью и скоростью сформированы множества значений на базе этих характеристик для 274 скоростных судов служебно-разъездного и прогулочного назначения, имеющих корпуса из неметаллических композиционных материалов, производства США, стран Европы и Азии. Обводы этих судов являются остроскулыми, с достаточно большими углами килеватости и продольными реданами. В качестве движителей применены гребные винты с большим дисковым отношением. На судах малых размеров (длиной до 10-11 м) используются поворотные-откидные колонки. На некоторых, наиболее скоростных судах, установлены приводы Арнесона. Суда, являющиеся объектом анализа, имеют водоизмещение от 2 до 160 т, длину от 9 до 42 м, установленную мощность главных двигателей от 200 до 8000 кВт, скорость полного хода от 10 м/с (19 узлов) до 45 м/с (87 узлов). Исходные данные по проектам этих судов взяты из специализированных справочно-информационных изданий, а также информационных ресурсов Интернет [2]. Значения коэффициентов  $C_a, C_{\text{скор}}$  и  $C_f$  получены в табличной форме.

Значения коэффициентов представлены, также, в виде семейства графиков, отражающих изменения значений  $C_a, C_{\text{скор}}$  и  $C_f$  по интервалам полной массы  $D$  при фиксированных значениях скорости  $V$  и числа Фруда по водоизмещению  $F_{r_v}$ , а также уравнений аппроксимации. Построены поверхности, отражающие эти изменения по всему множеству значений экспериментальных данных (рисунок 1-3).

Полученное семейство графиков в сочетании с описывающими их уравнениями образует устойчивые взаимосвязи между такими характеристиками скоростных судов из композиционных материалов, как полная масса  $D$ , мощность главных двигателей  $N$ , а также их скоростными характеристиками: скоростью  $V$  и числом Фруда по водоизмещению  $F_{r_v}$ . Форма поверхностей, объединяющих эти графики, характеризуется достаточной гладкостью, что позволяет использовать полученные зависимости для анализа и практических расчетов.



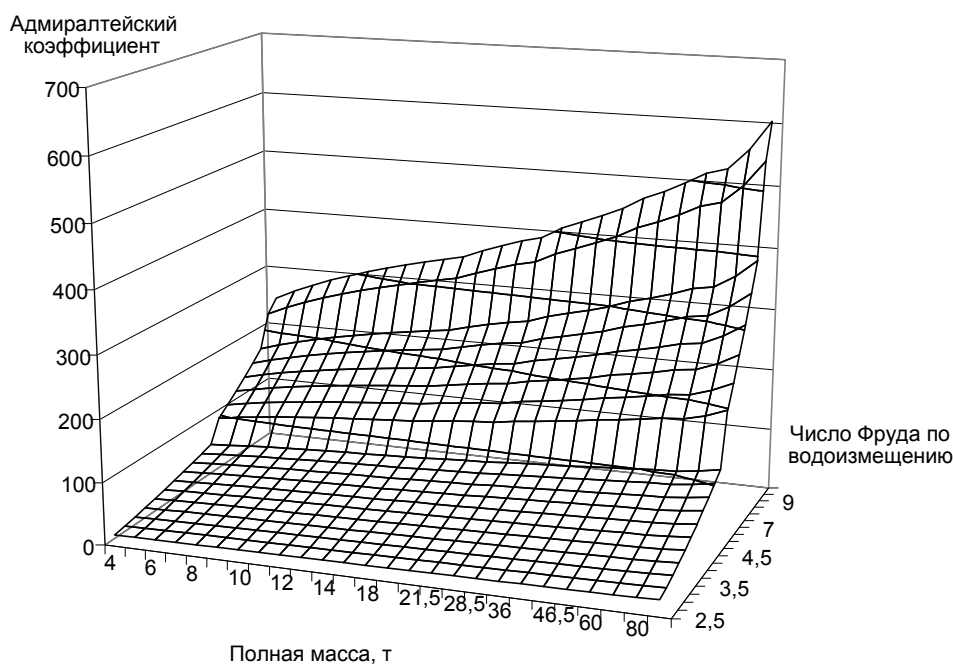


Рисунок 1 – Изменение адмиралтейского коэффициента  $C_a$  в зависимости от полной массы и числа Фруда по водоизмещению для глиссеров

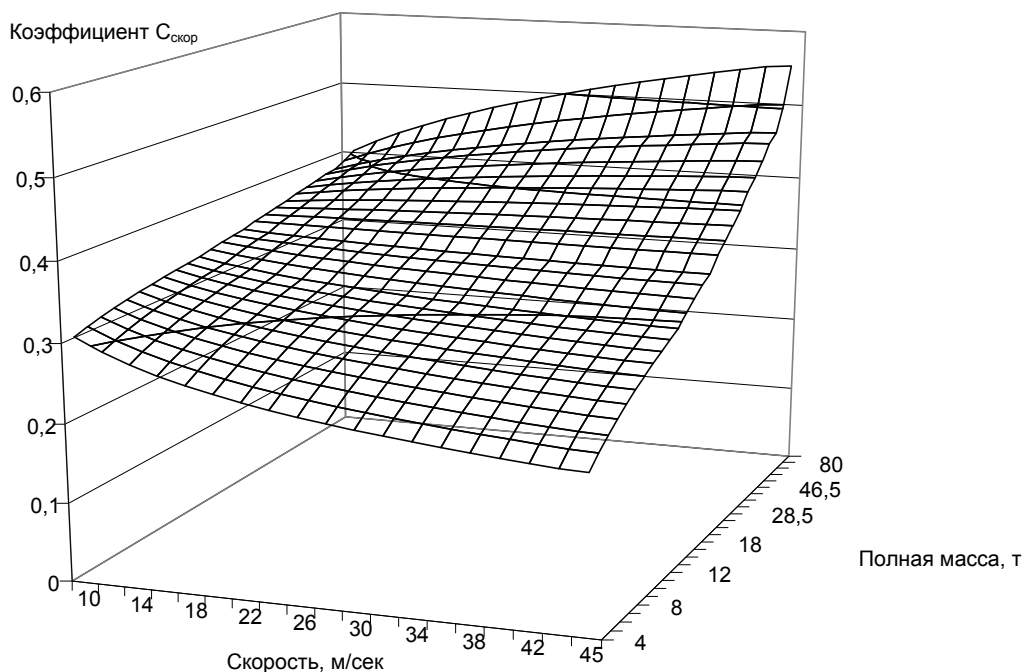


Рисунок 2 – Изменение коэффициента  $C_{\text{скор}}$  в зависимости от полной массы и скорости для глиссеров

Для оценки работоспособности полученных результатов проектного анализа характеристик полной массы, мощности и скорости судов из композиционных материалов с доминирующими подсистемами, обеспечивающими повышенные характеристики ходкости, выполнен проверочный расчет характеристик мощности при заданной скорости для ряда известных скоростных глиссирующих судов отечественной постройки. Рассматриваемые суда не входили в обрабатываемые при проектном анализе базы данных.

Проверочный расчет выполнен для следующих скоростных судов:

- Скоростное судно проекта 14170;
- Скоростное судно проекта 12260;
- Скоростное судно проекта 12150;
- Скоростное судно проекта 12200.

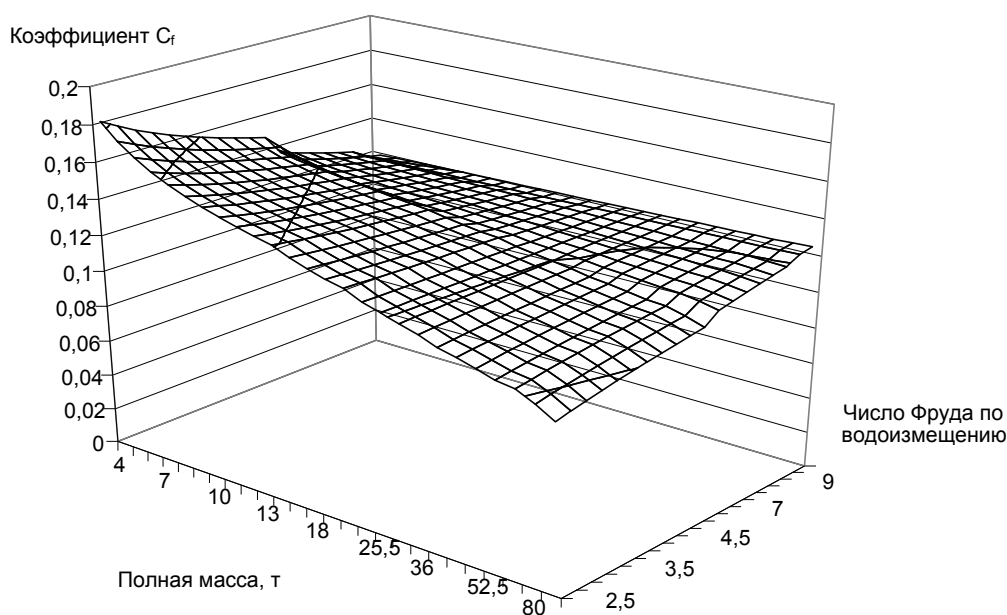


Рисунок 3 – Изменение коэффициента  $C_f$  в зависимости от полной массы и скорости для глиссеров

Проектные характеристики выше перечисленных судов взяты из открытых источников. Результаты проверочного расчета приведены в таблице.

Таблица – Результаты расчета

Величина	Расчетная формула	Проекты			
		14170	12260	12150	12200
Полная масса, т	данные разработчика	8,6	8,99	23,6	60,0
Мощность, кВт	данные разработчика	442	662	1980	3580
Мощность рассчитанная через $C_a$ , кВт	(2)	455	714	1754	3769
Мощность рассчитанная через $C_{скор}$ , кВт	(3)	430	716	1809	3676
Мощность рассчитанная через $C_f$ , кВт	(4)	426	713	1791	3698

Значения коэффициентов, кроме того, уточнялись, как среднее арифметическое между величинами, полученными по таблицам зависимостей от скорости  $V$  и числа Фруда по водоизмещению  $F_{r_v}$ . Погрешность отклонения полученных величин мощности от проектных значений при этом находится в пределах 2,7-5,2%.

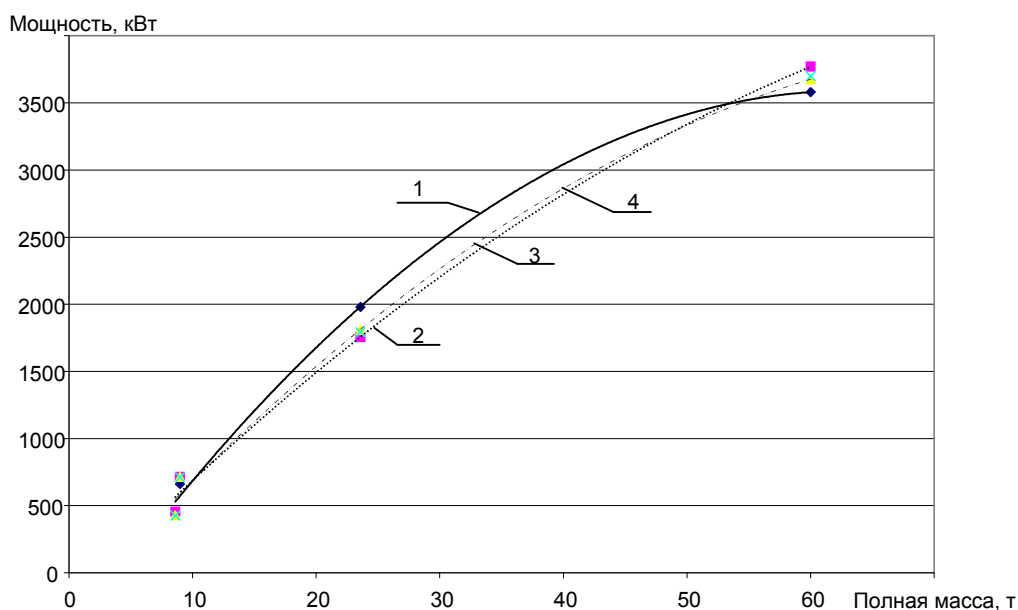


Рисунок 4 – Сравнение мощности построенных судов по данным разработчиков (кривая 1) и мощности, рассчитанной при помощи различных коэффициентов (кривые 2-4)

Значения мощности построенных судов, рассчитанные с помощью различных по форме уравнений «Мощности-Ходкости» с изме-

няющимися показателями от 1 до 2/3 у полной массы и с изменяющимися показателями от 1 до 3 у скорости  $V$ , входящими в уравнения имеют достаточно близкие значения. Таким образом, для определения мощности остроскулых глиссирующих судов, движущихся в условиях развитого волнообразования, можно использовать, как адмиралтейский коэффициент  $C_a$ , так и коэффициенты  $C_{скор}$  и  $C_f$ .

Можно предположить, что это обусловлено природой коэффициентов  $C_{mn}$ , входящих в уравнения «Мощности-Ходкости». Они являются не самостоятельными физическими величинами, определяющими гидродинамические особенности движения судна, а лишь математическими параметрами, устанавливающими взаимосвязь между такими физическими величинами, как полная масса судна  $D$ , мощность его главных двигателей  $N$ , а также скоростью судна  $V$ . Чем более эффективными, с точки зрения математики, методами они будут определены при разработке математической модели уравнения «Мощности-Ходкости», тем легче и точнее будет реализован «вход» в зону оптимальных соотношений полной массы мощности и скорости глиссирующего судна, в том числе и из композиционных материалов. Использование указанных коэффициентов на начальных стадиях проектирования не заменяет собой необходимости выполнения гидродинамических расчетов на последующих этапах проекта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ашик, В.В. Проектирование судов / В.В. Ашик. -Л.: Судостроение, 1985. -486 с.
- 2 Францев, М.Э. Проектное обоснование оптимальных сочетаний характеристик массы, мощности и скорости для скоростных судов из композитов методами анализа баз данных / М.Э. Францев // Наука и техника трансп. -2010. -№3. -С. 53-59.
- 3 Царев, Б.А. Исследование проектного уравнения мощности В.Л. Поздюнина и его современных интерпретаций / Б.А. Царев // Материалы Международной научной конференции «Леонард Эйлер и современная наука». -СПб., 2007. -С. 423-428.
- 4 Царев, Б.А. Оптимизационное проектирование скоростных судов / Б.А. Царев. -Л.: ЛКИ, 1988. -102 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *проектирование судов из композиционных материалов, уравнения, полная масса, мощность, скорость*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Францев Михаил Эрнстович, канд. техн. наук, директор АОЗТ «Нептун-Судомонтаж»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *141703, Московская область, г. Долгопрудный, п. Водники, АОЗТ «Нептун-Судомонтаж»*

## **ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ СУДНА НА ШИРИНУ ХОДОВОЙ ПОЛОСЫ**

**ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»**

**ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»**

**А.Н. Клементьев, Б.В. Палагушкин**

### **INFLUENCE OF GEOMETRICAL RATIOS OF A VESSEL ON WIDTH OF A RUNNING STRIP**

**«Volga state academy of water transport»**

**«Novosibirsk state academy of water transport»**

A.N. Klementyev, B.V. Palagushkin

Now the width of a ship canal becomes a critical factor in swimming safety in the constrained conditions. It is connected with that the relation of length to width at new vessels steadily decreases because their width increases for the purpose of increase in loading capacity without increase their precipitation. At design of new navigable ways and modernization of the existing information on required width of a strip is necessary for movement of a concrete vessel on a certain site of the channel.

*Keywords: vessel, passableness, geometry, navigation*

В настоящее время ширина судоходного канала становится критическим фактором в обеспечении безопасности плавания в стесненных условиях. Это связано с тем, что отношение длины к ширине у новых судов неуклонно снижается из-за того, что их ширина увеличивается с целью увеличения грузоподъемности без увеличения их осадки. При проектировании новых судоходных путей и модернизации существующих, необходима информация о требуемой ширине полосы для движения конкретного судна по определенному участку канала.

Одной из основных тенденций в современном судостроении, касающейся как маневренных характеристик судов, так и проектирования судоходных каналов, является увеличение соотношений  $B/L$  и  $B/T$  у вновь строящихся судов, а так же увеличение их тоннажа.

Анализ, приведенный в работе [1], показывает следующие тенденции современного судостроения:

- Соотношение  $L/B$  уменьшается для всех типов транспортных судов.
- Соотношение  $B/T$  увеличивается для всех типов транспортных судов.
- Соотношение  $L/T$  или не изменяется, или несколько уменьшается для всех типов транспортных судов.

В настоящее время ширина судоходного канала становится критическим фактором в обеспечении безопасности плавания в стесненных условиях. Это связано с тем, что отношение длины к ширине у новых судов неуклонно снижается из-за того, что их ширина увеличивается с целью увеличения грузоподъемности без увеличения их осадки. Изменение отношения длины к ширине судна изменяет характеристики управляемости, что усложняет плавание в стесненных акваториях. Ситуация усугубляется трудностями, связанными с прохождением судов большей ширины по каналам, габариты которых за последние годы почти не менялись [2]. При проектировании новых судоходных путей и модернизации существующих необходима информация о требующейся ширине полосы для движения конкретного судна по определенному участку канала.

Для оценки положения полюса поворота у морских судов различных типов на установившейся циркуляции, который определяет ширину ходовой полосы, была проведена обработка данных о параметрах циркуляции нескольких морских судов разного класса и назначения. Параметры циркуляции этих судов были получены по данным их математических моделей Датского института мореплавания [3, 4]. Результаты расчетов безразмерной абсциссы полюса поворота представлены в таблице.

*Таблица – Параметры движения судов на установившейся циркуляции при максимальном угле перекадки рулевого органа*

Тип судна	Главные размерения, $L \times B \times T$ , м	$\delta_p$ , град.	$\beta$ , град.	$\bar{x}_p$
Танкер VLCC (в грузу)	310×56×20	35	20,6	0,396
Танкер VLCC (в балласте)	310×56×(6,28/10,77)	35	25,9	0,589
Озерное грузовое судно	215,6×22,85×7,98	35	19,8	0,519
Контейнеровоз	230,5×32,2×10,15	35	14,1	0,482
Пассажирский паром	143,2×23,1×5,1	35	22,3	0,605
Балкер	219×32,2×12,8	35	27,4	0,432
Судно для генеральных грузов	150×24,9×9,1	35	21,2	0,404
Танкер	257×48,5×14,6	35	35,4	0,597
Судно снабжения	56,4×13,8×4,5	45	11,8	0,341
Малое грузовое судно	85×18,25×5,5	32	19,4	0,352

Ширина ходовой полосы, занимаемой судном на повороте может быть рассчитана по методике, изложенной в работе [5]

$$B_{х.п.} = R_k - \sqrt{R^2 - x_p^2} + 0,5B_c, \quad (1)$$

- где  $R$  – радиус циркуляции по ЦТ;  
 $x_p$  – абсцисса полюса поворота;  
 $B_c$  – ширина судна;  
 $R_k$  – радиус циркуляции по корме

$$R_k = \sqrt{(x_p - l_k)^2 + (R_p + 0,5B_c)^2}, \quad (2)$$

- $l_k$  – отстояние кормовой оконечности судна от его ЦТ (всегда отрицательна);  
 $R_p$  – радиус циркуляции полюса поворота,

$$R_p = \sqrt{R^2 - x_p^2}. \quad (3)$$

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие основные выводы:

- ширина ходовой полосы, занимаемой судном на повороте, определяется не только радиусом поворота, но и величиной абсциссы полюса поворота;
- дополнительное влияние оказывают соотношения геометрических размеров судна.

По результатам проведенного анализа авторами получена приближенная зависимость для оценки влияния геометрических размеров судна на величину абсциссы полюса поворо-

та при условии загрузки на ровный киль

$$\bar{x}_p = -0,196 \frac{L}{B} + 0,026 \left( \frac{L}{B} \right)^2 + 0,1457 \frac{L}{T} - 0,0017 \left( \frac{L}{T} \right)^2 - 0,0088 \frac{L}{B} \cdot \frac{L}{T} - 0,419. \quad (4)$$

Расчеты показывают, что при увеличении соотношения  $L/B$  значение абсциссы полюса поворота увеличивается, что приводит к ухудшению поворотливости, увеличению ширины ходовой полосы, занимаемой судном при выполнении поворота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Waters, J.K. Shipping Trends Analysis / J.K. Waters, R.H. Mayer, D.L. Kriebel; Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, United States Naval Academy, Annapolis, MD 21402, for Institute for Water Resources, U.S. Army Corps of Engineers, Alexandria, VA 22315. September, 2000. -88 p.
- 2 Channel Design and Vessel Maneuverability – Next Steps. «When Ships Get Too Big for Their Ditches» [Electronic resource] / W.O. Gray, J. Waters, A. Blume, A.C. Landsburg // Presented before the New York Metropolitan Section of the Society of Naval Architects and Marine Engineers on January 9, 2002. -18 p.: available at. – Mode of access: <http://www.usna.edu/NAOE/Channel/>
- 3 Danish Maritime Institute. DMI 89128 Reports Nos. 7, 8, 9, 10, 11. Ships 1222, 1223, 1224, 1225, 1226. Mathematical Simulation Models. Lyngby, 1992.
- 4 Danish Maritime Institute. DMI Report. Own Ship Data for ships 1305, 1306, 1307, 1315, 1322, Lyngby, 1993.
- 5 Клементьев, А.Н. Влияние величины абсциссы полюса поворота на размеры полосы движения, необходимой для маневра судна / А.Н. Клементьев, А.Д. Павельев // Реч. трансп. (XXI век). -2008. -№1. -С. 86-88.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** судно, проходимость, геометрия, судоходство

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Клементьев Александр Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
Палагушкин Борис Владимирович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 603950, г. Н. Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ШИРИНУ ХОДОВОЙ ПОЛОСЫ СУДНА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПОВОРОТОВ

ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

**А.Н. Клементьев**

### INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON WIDTH OF A RUNNING STRIP OF A VESSEL AT PASSAGE OF TURNS

«Volga state academy of water transport»

A.N. Klementyev

Standards of maneuverability operating now both for sea vessels, and for the river are based on characteristics of vessels at standard loading to equal Kiel on deep water and speeds of a full speed. However the question of maneuverable qualities in the constrained conditions and on shoal remains open. In spite of the fact that the big group of researchers before acceptance of criteria business was engaged in influence of shoal on maneuverable characteristics of river crafts didn't reach.

*Keywords: vessel, passableness, geometry, navigation, shoal*

Действующие в настоящее время стандарты маневренности как для морских судов, так и для речных основываются на характеристиках судов при типовой загрузке на ровный киль на глубокой воде и скоростях полного хода. Однако вопрос маневренных качеств в стесненных условиях и на мелководье остается открытым. Несмотря на то, что влиянием мелководья на маневренные характеристики речных судов занималась большая группа исследователей, до принятия критериев дело так и не дошло.

Действующие в настоящее время стандарты маневренности как для морских судов [1], так и для речных [2, 3] основываются на характеристиках судов при типовой загрузке на ровный киль на глубокой воде и скоростях полного хода. Однако вопрос маневренных качеств в стесненных условиях и на мелководье остается открытым. Несмотря на то, что влиянием мелководья на маневренные характеристики речных судов занималась большая группа исследователей, до принятия критериев дело так и не дошло.

Исследования, проведенные В.Г. Павленко, Г.И. Вагановым, Н.Ф. Соларевым, Л.М. Рыжовым, А.Д. Гофманом позволили установить, что кроме относительного диаметра циркуляции ( $\bar{D}_u = D_u/L$ ) безопасность прохождения поворотов реки определяется дополнительно: шириной судового хода, соотношением радиуса циркуляции кормового перпендикуляра судна и радиуса кривизны судового хода, а также наличием течения. Влияние этих факторов учитывается лишь в Нормах управляемости [4].

Однако анализ данных натурных испытаний показывает, что даже применение радиуса

циркуляции кормовой оконечности судна в качестве критерия поворотливости не может характеризовать геометрические параметры циркуляции судна в условиях стесненной акватории. Это связано с тем, что под радиусом циркуляции кормовой оконечности понимается радиус циркуляции точки кормовой оконечности ДП судна. Однако радиус циркуляции этой точки практически никогда не является наибольшим радиусом циркуляции оконечностей судна. Этот факт можно проиллюстрировать следующими примерами.

На рисунке 1а представлен случай циркуляции судна с отношением  $L/B=7$  и радиусом циркуляции по ЦТ  $\bar{R}_ц = R_ц/L = 0,7$ , что близко к значению радиуса установившейся циркуляции по ЦТ многих судов внутреннего плавания при максимальном угле перекаладки рулевых органов.

Как видно из рисунка 1а, радиус циркуляции кормовой оконечности  $R_к$  меньше радиуса циркуляции закрашенной части кормы судна.

На рисунке 1б показана циркуляция того же судна в аналогичных условиях, но при большем радиусе циркуляции (при средних углах перекаладки).

Из рисунка 1б видно, что в этом случае часть кормы, выходящая за пределы окружности с радиусом  $R_к$ , становится еще больше, чем в случае, показанном на рисунке 1.

На рисунке 1в показан случай циркуляции того же судна в условиях предельного мелководья, для которой характерны малые углы дрейфа и большой радиус циркуляции.

Очевидно, что в этом случае разница между величиной  $R_к$  и действительным максимальным радиусом циркуляции становится еще более значительной, чем в ранее рассмотренных случаях.

В случае циркуляции, показанной на рисунке 1г, при расположении ЦТ судна в корму от миделя (при дифференте на корму) и в условиях предельного мелководья максимальные радиусы циркуляции как кормовой, так и носовой частей судна могут оказываться больше величины  $R_к$ .

В этом случае использование величины  $R_к$  в качестве характеристики размеров акватории, необходимой для поворота судна, полностью теряет смысл.

На величину действительного максимального радиуса циркуляции оконечностей судна большое влияние оказывает также форма корпуса конкретного судна. На рисунке 1д показаны максимальные радиусы циркуляции рассмотренного выше судна и судна с теми же размерениями, но с другой формой кормовой оконечности.

Дополнительное изменение ходовой полосы при прохождении криволинейных участков происходит при наличии дифферента судна.

Отмеченные факторы на учитываются действующими документами и требуют дополнительного исследования.

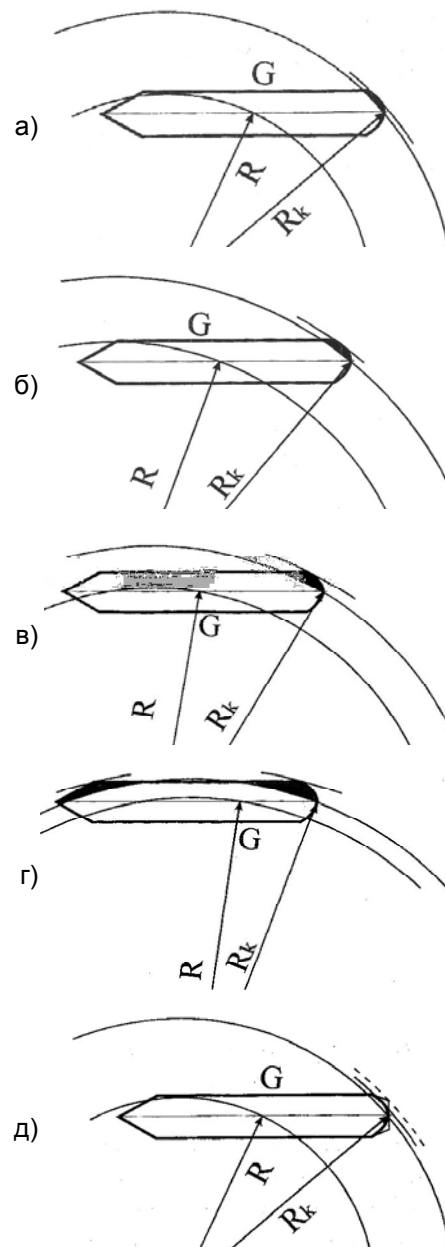


Рисунок 1 – Циркуляция судна внутреннего плавания: а)-при максимальном угле перекаладки рулевого органа на глубокой воде в нестесненной акватории; б)-при среднем угле перекаладки рулевого органа на глубокой воде в нестесненной акватории; в)-при максимальном угле перекаладки рулевого органа в условиях предельного мелководья; г)-при максимальном угле перекаладки рулевого органа в условиях предельного мелководья; д)-с разными формами кормовых оконечностей при максимальной перекаладке рулевых органов на глубокой воде в неограниченной акватории

- 1 Резолюция ИМО MSC 137 (16). -2002.
- 2 Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания Российского Речного Регистра.
- 3 Расчеты маневренности и проведение натуральных испытаний судов внутреннего и смешанного плавания: рук. Р.006-2004 / Рос. Реч. Регистр. -М., 2004. -38 с.
- 4 Временные нормы управляемости речных судов и река-море плавания: РТМ 212.0137-86 / Мин-во реч. флота. -Л., 1987. -19 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** судно, проходимость, геометрия, судоходство, мелководье  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Клементьев Александр Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 603950, г. Н. Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## **ПРЕОБРАЗОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА-ЛАГРАНЖА ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМЫ СУДНО-ЖИДКОСТЬ**

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
 ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

**Б.В. Палагушкин, В.И. Тихонов**

**TRANSFORMATION OF THE EQUATIONS OF EULER-LAGRANZHA FOR MATHEMATICAL MODELING OF MOVEMENT OF SYSTEM A VESSEL-LIQUID**  
 «Novosibirsk state academy of water transport»  
 «Volga state academy of water transport»  
 B.V. Palagushkin, V.I. Tikhonov

By drawing up of the equations of any plane-parallel movement of a vessel authors of a number of works use Euler's known equations-Lagrangha we will notice that the formula can be used for drawing up of the equations of movement of any system only in that case when quasispeeds are set by means of homogeneous linear forms with the factors which are not containing to time in an explicit form. Matrixes testify that factors at generalized and obviously depend quasispeeds on time. Therefore formula use for receiving the equations of movement of a vessel is incorrect. Let's try to work out Euler's equations-Lagrangha in such look which would allow to describe system movement a vessel-liquid. For this purpose we will consider the general central equation of dynamics.

*Keywords: Euler's equations-Lagrangha, dynamics, a vessel, liquid, movement*

При составлении уравнений произвольного плоскопараллельного движения судна авторы ряда работ используют известные уравнения Эйлера-Лагранжа. Заметим, что формула может быть использована для составления уравнений движения какой-либо системы лишь в том случае, когда квазискорости заданы с помощью однородных линейных форм с коэффициентами, не содержащими времени в явном виде. Матрицы свидетельствуют о том, что коэффициенты при обобщенных и квазискоростях явно зависят от времени. Поэтому использование формулы для получения уравнений движения судна некорректно. Попытаемся составить уравнения Эйлера-Лагранжа в таком виде, который позволял бы описать движение системы судно-жидкость. Для этого рассмотрим общее центральное уравнение динамики.

При составлении уравнений произвольного плоскопараллельного движения судна авторы ряда работ [1, 2] используют известные уравнения Эйлера-Лагранжа [3] в следующем виде

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_s}{\partial \omega_i} \right) + \sum_{r=1}^3 \sum_{k=1}^3 \gamma_{ki}^r \frac{\partial T_s}{\partial \omega_r} \omega_k - \frac{\partial T_s}{\partial \pi_i} = F_i; \quad (i = 1, 2, 3),$$

где  $T_s$  – кинетическая энергия системы судно-жидкость;

$\omega_i$  – квазискорости;

$\gamma_{ki}^r$  – трехиндексные символы;

$\pi_i$  – квазикоординаты;

$F_i$  – квазисилы;

$i$  – число степеней свободы системы.

Для получения с помощью формулы (1) уравнений движения судна вводят две системы координат: неподвижную  $x_0Oy_0$ , связанную с земной поверхностью, и подвижную  $xBy$ , жестко связанную с судном. Движение судна задается проекциями  $v_x$  и  $v_y$  вектора скорости  $\vec{v}$  его центра масс  $G$ , а также угловой скоростью  $\omega$  вращения относительно вертикальной оси

Gz.

В качестве обобщенных координат  $q_i$  принимаются абсолютные координаты ЦМ судна в неподвижной системе и его курс  $\psi$ , то есть

$$q_1 = x_0; q_2 = y_0; q_3 = \psi = \omega t, \quad (2)$$

а под квазикоординатами понимаются координаты подвижной системы

$$\pi_1 = x; \pi_2 = y; \pi_3 = \psi = \omega t.$$

Взаимосвязь между обобщенными и квазикоординатами выражается следующим образом:

$$q_1 = x_0 = x \cos \psi - y \sin \psi; \quad (4)$$

$$q_2 = y_0 = x \sin \psi + y \cos \psi; \quad (5)$$

$$q_3 = \psi = \omega t; \quad (6)$$

$$\pi_1 = x = q_1 \cos \psi + q_2 \sin \psi; \quad (7)$$

$$\pi_2 = y = -q_1 \sin \psi + q_2 \cos \psi; \quad (8)$$

$$\pi_3 = q_3 = \psi = \omega t. \quad (9)$$

Тогда обобщенными скоростями будут:

$$\dot{q}_1 = v_{x_0} = v_x \cos \psi - v_y \sin \psi; \quad (10)$$

$$\dot{q}_2 = v_{y_0} = v_x \sin \psi + v_y \cos \psi; \quad (11)$$

$$\dot{q}_3 = \dot{\psi} = \omega, \quad (12)$$

а квазискоростями:

$$\omega_1 = v_x = \dot{q}_1 \cos \psi + \dot{q}_2 \sin \psi; \quad (13)$$

$$\omega_2 = v_y = -\dot{q}_1 \sin \psi + \dot{q}_2 \cos \psi; \quad (14)$$

$$\omega_3 = \omega = \dot{q}_3. \quad (15)$$

Из выражений (13)-(15) вытекает вид прямой и обратной матриц коэффициентов при обобщенных скоростях:

$$a = \begin{vmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}; \quad b = \begin{vmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (16)$$

Заметим, что формула (1) может быть использована для составления уравнений движения какой-либо системы лишь в том случае, когда квазискорости заданы с помощью однородных линейных форм с коэффициентами, не содержащими времени  $t$  в явном виде. То есть при условии, что коэффициенты при обобщенных скоростях не зависят от времени явно [3].

Матрицы (16) со всей очевидностью свидетельствуют о том, что коэффициенты при обобщенных и квазискоростях являются функциями лишь координаты  $q_3 = \psi = \omega t$ , которая, в свою очередь, явно зависит от времени  $t$ . Поэтому использование формулы (1) для получения уравнений движения судна, строго говоря, некорректно.

Попытаемся составить уравнения Эйлера-Лагранжа в таком виде, который позволял бы описать движение системы судно-жидкость. Для этого рассмотрим общее центральное уравнение динамики [3]

$$\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^3 p_i \delta q_i = \delta T_s + \sum_{i=1}^3 Q_i \delta q_i + \sum_{i=1}^3 p_i \left[ (\delta q_i)' - \delta \dot{q}_i \right], \quad (17)$$

где  $p_i$  – обобщенные импульсы;

$\delta q_i$  – вариации обобщенных координат;

$\delta T_s$  – вариация кинетической энергии системы;

$Q_i$  – обобщенные силы;

$(\delta q_i)'$  – производная по времени от вариации обобщенной координаты;

$\delta \dot{q}_i$  – вариация обобщенной скорости.

Перепишем выражения (4)-(6) и (7)-(9) в общем виде:

$$q_i = \sum_{r=1}^3 b_{ir} \pi_r; \quad (18)$$



$$\pi_i = \sum_{r=1}^3 a_{ir} q_r, \quad (19)$$

где  $a_{ir}, b_{ir}$  – элементы матриц (16), у которых первый индекс означает номер строки соответствующей матрицы, а второй – номер столбца.

Найдем значения вариаций координат и квазискоростей. Дифференцируя выражения (18), (19), а также (13)-(15) по времени  $t$ , получаем:

$$\delta q_i = \sum_{r=1}^3 \delta(b_{ir} \pi_r) = \sum_{r=1}^3 b_{ir} \delta \pi_r + \sum_{r=1}^3 \pi_r \frac{\partial b_{ir}}{\partial t} \delta t; \quad (20)$$

$$\delta \pi_i = \sum_{r=1}^3 \delta(a_{ir} q_r) = \sum_{r=1}^3 a_{ir} \delta q_r + \sum_{r=1}^3 q_r \frac{\partial a_{ir}}{\partial t} \delta t; \quad (21)$$

$$\delta \omega_i = \sum_{r=1}^3 \delta(a_{ir} \dot{q}_r) = \sum_{r=1}^3 a_{ir} \delta \dot{q}_r + \sum_{r=1}^3 \dot{q}_r \frac{\partial a_{ir}}{\partial t} \delta t. \quad (22)$$

Поскольку вариация времени  $\delta t = 0$  [3], то:

$$\delta q_i = \sum_{r=1}^3 b_{ir} \delta \pi_r; \quad (23)$$

$$\delta \pi_i = \sum_{r=1}^3 a_{ir} \delta q_r; \quad (24)$$

$$\delta \omega_i = \sum_{r=1}^3 a_{ir} \delta \dot{q}_r. \quad (25)$$

Раскроем левую часть уравнения (17). Известно, что импульс равен частной производной кинетической энергии по скорости. Следовательно

$$p_i = \frac{\partial T_s}{\partial \dot{q}_i} = \sum_{r=1}^3 \frac{\partial T_s}{\partial \omega_r} \frac{\partial \omega_r}{\partial \dot{q}_i} = \sum_{r=1}^3 \frac{\partial T_s}{\partial \omega_r} a_{ri}. \quad (26)$$

Тогда

$$\sum_{i=1}^3 p_i \delta q_i = \sum_{r=1}^3 \frac{\partial T_s}{\partial \omega_r} \sum_{i=1}^3 a_{ri} \delta q_i = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial T_s}{\partial \omega_i} \delta \pi_i. \quad (27)$$

Дифференцируя равенство (27) по времени  $t$ , находим

$$\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^3 p_i \delta q_i = \sum_{i=1}^3 \delta \pi_i \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_s}{\partial \omega_i} \right) + \sum_{i=1}^3 \frac{\partial T_s}{\partial \omega_i} (\delta \pi_i)'. \quad (28)$$

Рассмотрим слагаемые, составляющие правую часть уравнения (17). Поскольку кинетическая энергия является функцией квазискоростей, то ее вариация может быть выражена следующим образом [3]

$$\delta T_s = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial T_s}{\partial \omega_i} \delta \omega_i + \sum_{i=1}^3 \frac{\partial T_s}{\partial \pi_i} \delta \pi_i. \quad (29)$$

Второе слагаемое в правой части уравнения (17) может быть преобразовано к виду [3]

$$\sum_{i=1}^3 Q_i \delta q_i = \sum_{i=3}^3 F_i \sum_{r=1}^3 a_{ir} \delta q_r = \sum_{i=1}^3 F_i \delta \pi_i. \quad (30)$$

Третье слагаемое в правой части уравнения (17) с учетом формулы (26) заменим выражением

$$\sum_{i=1}^3 p_i [(\delta q_i)' - \delta \dot{q}_i] = \sum_{r=1}^3 \frac{\partial T_s}{\partial \omega_r} \sum_{i=1}^3 a_{ri} [(\delta q_i)' - \delta \dot{q}_i]. \quad (31)$$

Дифференцируя по времени  $t$  вариации квазиординат, получаем

$$(\delta \pi_i)' = \sum_{i=1}^3 (a_{ri} \delta q_i)' = \sum_{i=1}^3 a_{ri} (\delta q_i)' + \sum_{i=1}^3 \frac{\partial a_{ri}}{\partial t} \delta q_i. \quad (32)$$

Последняя сумма в правой части равенства (32) с учетом соотношения (23) может быть представлена в виде

$$\sum_{i=1}^3 \frac{\partial a_{ri}}{\partial t} \delta q_i = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial a_{ri}}{\partial t} \sum_{k=1}^3 b_{ik} \delta \pi_k = \sum_{i=1}^3 \delta \pi_i \sum_{k=1}^3 \frac{\partial a_{rk}}{\partial t} b_{ki}. \quad (33)$$

Обозначим

$$\sum_{k=1}^3 \frac{\partial a_{rk}}{\partial t} b_{ki} = \varepsilon_i^r. \quad (34)$$

Тогда

$$(\delta \pi_i)' = \sum_{i=1}^3 a_{ii} (\delta q_i)' + \sum_{i=1}^3 \delta \pi_i \varepsilon_i^r. \quad (35)$$

Выражение (31) с учетом формул (35) и (25) представим следующим образом

$$\sum_{i=1}^3 p_i \left[ (\delta q_i)' - \delta \dot{q}_i \right] = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial T_s}{\partial \omega_i} (\delta \pi_i)' - \sum_{r=1}^3 \frac{\partial T_s}{\partial \omega_r} \sum_{i=1}^3 \delta \pi_i \varepsilon_i^r - \sum_{i=1}^3 \frac{\partial T_s}{\partial \omega_i} \delta \omega_i. \quad (36)$$

Подставляя (28)-(30) и (36) в уравнение (17), получаем

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^3 \delta \pi_i \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_s}{\partial \omega_i} \right) + \sum_{i=1}^3 \frac{\partial T_s}{\partial \omega_i} (\delta \pi_i)' &= \sum_{i=1}^3 \frac{\partial T_s}{\partial \omega_i} \delta \omega_i + \sum_{i=1}^3 \frac{\partial T_s}{\partial \pi_i} \delta \pi_i + \sum_{i=1}^3 F_i \delta \pi_i + \\ &+ \sum_{i=1}^3 \frac{\partial T_s}{\partial \omega_i} (\delta \pi_i)' - \sum_{r=1}^3 \frac{\partial T_s}{\partial \omega_r} \sum_{i=1}^3 \delta \pi_i \varepsilon_i^r - \sum_{i=1}^3 \frac{\partial T_s}{\partial \omega_i} \delta \omega_i, \end{aligned}$$

откуда

$$\sum_{i=1}^3 \delta \pi_i \left[ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_s}{\partial \omega_i} \right) + \sum_{r=1}^3 \varepsilon_i^r \frac{\partial T_s}{\partial \omega_r} - \frac{\partial T_s}{\partial \pi_i} - F_i \right] = 0. \quad (37)$$

Из последнего соотношения вытекает

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_s}{\partial \omega_i} \right) + \sum_{r=1}^3 \varepsilon_i^r \frac{\partial T_s}{\partial \omega_r} - \frac{\partial T_s}{\partial \pi_i} = F_i; \quad (i = 1, 2, 3). \quad (38)$$

Выражение (38) представляет собой уравнения Эйлера-Лагранжа в квазискоростях, в которых коэффициенты при обобщенных скоростях явно зависят от времени  $t$ .

Необходимо отметить, что для системы, состоящей из одиночного водоизмещающего судна и присоединенной жидкости,  $\partial T_s / \partial \pi_i = 0$ . Однако для более сложных систем – плотовые, буксируемые или изгибаемые составы – кинетическая энергия может функционально зависеть от квазикоординат. Поэтому уравнения (38) пригодны для математического моделирования плоского движения любых водоизмещающих плавсредств.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Павленко, В.Г. Маневренные качества речных судов: (управляемость судов и составов) / В.Г. Павленко. -М.: Транспорт, 1979. -184 с.
- 2 Гордеев, О.И. Математическое моделирование движения речных судов для судоводительских тренажеров / О.И. Гордеев. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 1996. -178 с.
- 3 Лурье, А.И. Аналитическая механика / А.И. Лурье. -М.: Физматгиз, 1961. -824 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** уравнения Эйлера-Лагранжа, динамика, судно, жидкость, движение  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Палагушкин Борис Владимирович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Тихонов Вадим Иванович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 603950, г. Н. Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## СУТОЧНАЯ НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ЧИСЛА ВИДИМЫХ СПУТНИКОВ СИСТЕМЫ GPS

ФБОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

**Ю.А. Комаровский**

**NUMBER OF OBSERVABLE GPS SATELLITES VARIES IN A 24 HOUR PERIOD**  
 «Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»  
 Yu.A. Komarovskiy

In the course of experiments conducted over 24-hour periods we discovered that, out of the 31 active GPS satellites, the number of the satellites observable over the horizon at any point in time fluctuates from 9 to 14 several times over a 24-hour period. The obtained results can be used to create a new model of errors formation for the GPS coordinates.

*Keywords: Navstar GPS, GPS-receiver, satellite over horizon, number of satellite trough day, visibility of satellites*

В ходе вычислительных экспериментов обнаружено, что при 31 действующем спутнике системы GPS число спутников над горизонтом изменяется неравномерно от 9 до 14 несколько раз в течение

суток. Полученные результаты позволят создать новую математическую модель формирования погрешностей координат судового GPS-приёмника.

Точность и надёжность определения координат судовым приёмником спутниковой радионавигационной системы (СРНС) Навстар GPS зависят от ряда причин. Одна из главных причин заключается в количестве спутников над горизонтом наблюдателя (видимых спутников) в данный момент времени. По аналогии с мореходной астрономией, высоты спутников над горизонтом, а также углы пересечения их азимутов влияют на точность определения места судна (ОМС). В судовых приёмниках СРНС Навстар GPS алгоритм отбора спутников для обсервации игнорирует сигналы тех ИСЗ, у которых высоты над горизонтом, как правило, менее  $7^{\circ}$ - $15^{\circ}$  и более  $75^{\circ}$ . Понятно, что чем больше в данный момент ИСЗ с высотами от  $7^{\circ}$  до  $75^{\circ}$ , тем точнее ОМС при прочих равных условиях. С другой стороны, чем больше одновременно видимых спутников, тем больше выбранное из них созвездие будет удовлетворять требованиям точности и надёжности ОМС. Отсюда вполне обоснованно следует предположение том, что если в течение суток количество одновременно видимых спутников изменяется неравномерно, то точность ОМС будет изменяться также неравномерно. Цель данной статьи заключается в обнаружении предполагаемой суточной неравномерности и изучении её количественных характеристик.

Чтобы определить характер изменения количества одновременно видимых спутников над горизонтом, на первый взгляд, достаточно подключить компьютер к работающему GPS-приёмнику и записать в течение суток все предложения \$GPGSV формата NMEA 0183 на жёсткий диск компьютера. Предложение \$GPGSV содержит высоты над горизонтом, азимуты и отношения сигнал/шум всех спутников над горизонтом. К сожалению, не все типы GPS-приёмники выводят это предложение на внешние устройства. Предложение \$GPGGA формата NMEA 0183 выводится практически всеми типами судовых GPS-приёмников. Но в предложении \$GPGGA содержится только то число спутников, чьи сигналы применялись для данной обсервации. Это число заведомо меньше общего числа спутников над горизонтом, так как часть спутников отсеяны из-за малой величины отношения сигнал/шум вследствие помех, мерцания ионосферы или объектов, создающих препятствия для распространения сигналов спутников, а также из-за недостаточной чувствительности судового GPS-приёмника. Поэтому в данной работе пришлось отказаться от экспериментальных наблюдений.

Способом получения количественных данных о существовании неравномерности был избран вычислительный эксперимент с использованием уже готового и апробированного программного продукта AUGUR GPS RAIM Prediction Tool компании Ecasnav. Данный программный продукт позволяет вычислять на любую секунду суток азимуты и высоты спутников СРНС Навстар GPS с разрядностью  $0,00001^{\circ}$ . Важным достоинством продукта является высокая оперативность обновления эфемерид каждого спутника, поддерживаемая в реальном масштабе времени компанией-разработчиком. Пакет AUGUR GPS RAIM Prediction Tool оперативно прекращает вычисление высот и азимутов тех спутников, которые временно или навсегда перестают транслировать навигационные сигналы.

В ходе первого вычислительного эксперимента задавались координаты Владивостока и возвышение фазового центра антенны GPS-приёмника равное нулю. Вычисления проводились на дату 7 ноября 2011 года через каждые 3 минуты, начиная с 0 часов по шкале времени UTC. После задания времени суток пакет AUGUR GPS RAIM Prediction Tool рассчитывал высоты и азимуты каждого спутника созвездия, транслирующего навигационные сигналы. На каждый задаваемый момент времени подсчитывалось число спутников с высотами более  $0^{\circ}$ . За сутки было выполнено 480 таких вычислительных процедур. На дату UTC 7 ноября число действующих спутников в космическом сегменте СРНС Навстар GPS достигало 31. Отсутствовали сигналы спутника PRN24.

Оценим суточный ход одновременно видимых спутников с помощью статистических характеристик. Для этого обозначим через  $n_i$  число случаев, когда за сутки регистрировалось  $i$  спутников над горизонтом. Как показали результаты предварительной обработки вычислительного эксперимента за 7 ноября,  $i = 9, \dots, 14$  при 31 рабочем ИСЗ. Понятно, что объём выборки за сутки  $n$  определится как

$$n = \sum_{i=9}^{14} n_i = 480.$$

Обозначим через  $w_i$  относительную частоту,  $w_i = n_i/n$ . Относительная частота показы-

вает, как часто в течение суток над горизонтом одновременно находится  $i$  спутников. То есть,  $w_i$  служит оценкой вероятности появления  $i$  одновременно видимых спутников за сутки.

Пусть  $N$ -суммарное число спутников над горизонтом, зарегистрированное в течение суток вычислительного эксперимента через 3-минутные интервалы.

$$N = \sum_{i=9}^{14} i \times n_i .$$

Тогда выборочное среднее число  $l$  наблюдаемых в течение суток определится как

$$l = \frac{N}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=9}^{14} i \times n_i .$$

Другой статистической характеристикой, с помощью которой можно оценивать постоянство исследуемого процесса восходов и заходов ИСЗ, служит показатель отклонений числа видимых спутников от выборочного среднего. В качестве меры колебаний числа  $i_j$  спутников над горизонтом в  $j$ -е моменты времени ( $j = 1, 2, \dots, 480$ ) относительно выборочного среднего  $l$  будем использовать выборочное среднее квадратическое отклонение (СКО)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{480} (i_j - l)^2}{n}} .$$

Для суток 7 ноября 2011 года статистические характеристики были равны:  $N = 5266$ ,  $l = 10,948$ ,  $\sigma = 1,311$ .

О характере изменения числа одновременно видимых спутников 7 ноября 2011 года можно судить по графику рисунка 1. Значения ординат графика соответствовали количеству видимых ИСЗ в данный момент времени, кратный 3 минутам.

На рисунке 1 можно видеть, что число одновременно наблюдаемых спутников над горизонтом непрерывно менялось. За сравнительно короткие промежутки времени их число увеличивалось или уменьшалось на 4. Такие явления происходили в точках графика, отмеченных цифрами от 1 до 5. В моменты времени, соответствующие началу суток, а также соответствующие отмеченным точкам графика спутников становилось гораздо больше, что должно сопровождаться увеличением точности ОМС. На рисунке 1 видно, что с 23 ч до 2 ч следующих суток над горизонтом находилось максимальное количество спутников. Эти факты свидетельствуют о крайне неравномерном характере суточного хода числа видимых спутников СНС Навстар GPS. Размах варьирования числа спутников составил 5. Минимальное количество спутников регистрировалось равным 9, а максимальное – 14. В результате вычислений относительные частоты получили следующие значения:  $w_9 = 0,1164$ ,  $w_{10} = 0,3222$ ,  $w_{11} = 0,237$ ,  $w_{12} = 0,1808$ ,  $w_{13} = 0,1081$ ,  $w_{14} = 0,0353$ . По этим данным построена гистограмма относительных частот рисунка 2.

Заслуживает внимания вопрос о постоянстве обнаруженных свойств суточного хода ко-

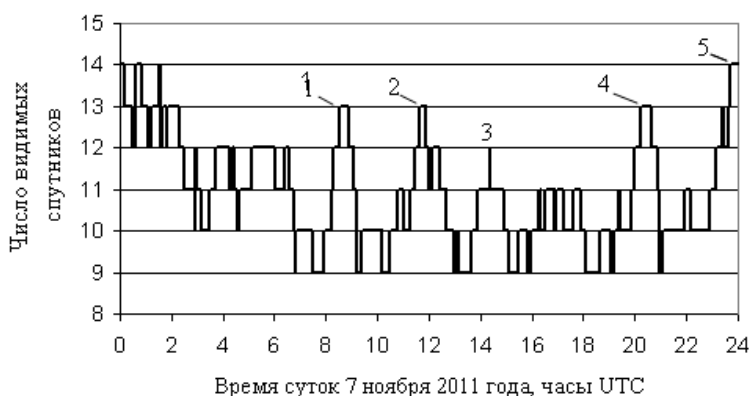


Рисунок 1 – Суточный ход числа одновременно видимых спутников системы GPS 7 ноября 2011 года

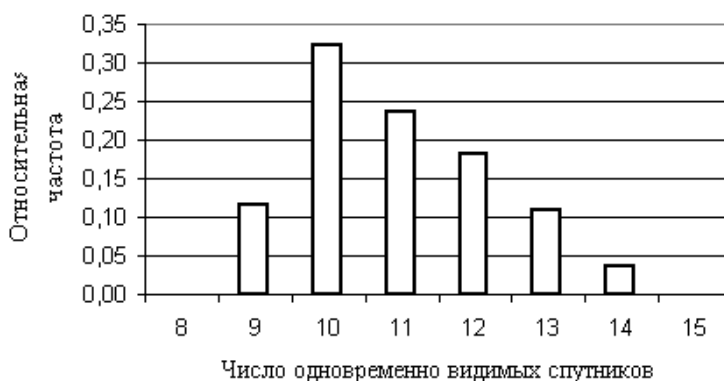


Рисунок 2 – Гистограмма распределения числа одновременно наблюдаемых спутников 7 ноября 2011 года

личества спутников. С этой целью были проведены вычислительные эксперименты с привлечением пакета AUGUR GPS RAIM Prediction Tool для 28 ноября 2011 года, 28 декабря 2011 года, 28 января 2012 года и 2 марта 2012 года. В эти дни количество действующих спутников в созвездии сохранялось равным 31 ИСЗ. Также как и в эксперименте 7 ноября, отсутствовали навигационные сигналы спутника PRN24. О сохранении постоянства характеристик можно судить по данным таблицы 1.

*Таблица 1 – Характеристики суточного хода числа одновременно видимых спутников при 31 действующем ИСЗ системы GPS*

Характеристика	Дата проведения вычислительного эксперимента			
	28.11.2011	28.12.2011	28.01.2012	02.03.2012
Суммарное число спутников	5271	5267	5270	5254
Среднее число спутников	10,958	10,95	10,956	10,923
СКО	1,279	1,269	1,263	1,263

Анализ таблицы 1 позволяет сделать следующие выводы. Несмотря на то, что между экспериментами проходил месяц, характеристики суточных ходов сохраняли неизменность. Тем не менее, суммарное число видимых спутников и среднее число одновременно видимых спутников, полученные по результатам численного эксперимента 2 марта 2012 года, несколько ниже остальных. Это можно объяснить выполнением коррекции орбит спутников PRN27 21 февраля 2012 года (NANU 2012007) и 1 марта 2012 года PRN4 (NANU 2012010), что изменило у этих спутников время восхода и захода, а также длительность их нахождения над горизонтом наблюдателя во Владивостоке.

По полученным в ходе вычислительных экспериментов данным были вычислены относительные частоты  $w_i$  появления количества  $i$  одновременно видимых спутников. Полученные относительные частоты помещены в таблицу 2.

*Таблица 2 – Относительные частоты появления  $i$  спутников СРНС Навстар GPS над горизонтом при 31 действующих ИСЗ*

Число спутников над горизонтом	Дата проведения вычислительного эксперимента			
	28.11.2011	28.12.2011	28.01.2012	02.03.2012
9	0,106029	0,108108	0,099792	0,103950
10	0,322245	0,316008	0,330561	0,343035
11	0,247401	0,253638	0,241164	0,232848
12	0,185031	0,191268	0,201663	0,195426
13	0,110187	0,101871	0,095634	0,095634
14	0,029106	0,029106	0,031185	0,029106

Анализ таблицы 2 позволяет установить незначительные отличия относительных частот для разных дней. Видно, что доминирующая частота приходится на случаи, когда над горизонтом присутствовали 10 спутников. Практическая неизменность относительных частот позволяет сделать вывод о том, что случайная величина  $i$  распределена по одному и тому же закону в разные сутки. Поэтому для построения гистограммы эмпирической плотности распределения можно эти выборки объединить и рассчитать обобщённые относительные частоты  $W_i$ . Пусть  $n_{ki}$  число случаев, когда за  $k$ -тые сутки ( $k = 4$ ) регистрировалось  $i$  спутников над горизонтом. Тогда

$$W_i = \frac{\sum_{k=1}^4 n_{ki}}{k \times n}.$$

Рассчитанные таким образом обобщённые относительные частоты помещены в таблицу 3.

*Таблица 3 – Значения обобщённых относительных частот*

$i$	9	10	11	12	13	14
$W_i$	0,1047	0,3286	0,2443	0,1937	0,1010	0,0297

Данные таблиц 2 и 3 позволяют сделать вывод о практически неизменном характере последовательности появления спутников над горизонтом. В средней широте на долю ситуаций, когда над горизонтом находится 10 и более спутников, приходится 89,7%.

Весьма полезным оказалось сравнение графика суточного хода числа одновременно

наблюдаемых спутников 28 ноября 2011 года (рисунок 3) с графиком суточного хода 2 марта 2012 года (рисунок 4).

Если сравнить рисунки 1-3, то можно сделать вывод о схожести графиков суточного хода. Тем не менее, обнаруживаются видимые отличия графиков. Характерная точка 3 графика суточного хода рисунка 1 отсутствует на рисунках 3 и 4. Поэтому она не рассматривалась в дальнейшем анализе. Промежуток времени, разделяющий эксперимент 28 ноября 2011 года от эксперимента 2 марта 2012 года, составляет 94 суток. Как следует из рисунков 3 и 4, за 94 дня характерные точки 1, 2, 4 и 5 рисунка 4 сместились и наступили заметно раньше по сравнению с рисунком 3. Чтобы определить обнаруженное смещение, моменты наступления этих событий были выбраны из массивов данных вычислительных экспериментов 28 ноября 2011 года и 2 марта 2012 года. Они помещены в таблицу 4.

Анализ таблицы 4 позволяет заключить, что характерные точки графиков смещаются приблизительно с одинаковой суточной скоростью. Усреднённое по четырём точкам суточное время опережения составило 4 минуты и 6 секунд.

Объяснить обнаруженное явление опережения можно разницей между солнечными и звёздными сутками. Одни звёздные сутки равны 23 часам 56 минутам 4,009054 секундам среднего солнечного времени. Судовое время измеряется по шкале среднего солнечного времени. Считается, что период обращения спутников СНС Навстар GPS равен 12 часам звёздного времени. Поэтому положения спутников на небесной сфере через сутки для одного и того же места наблюдателя должно повторяться приблизительно на 3 минуты 56 секунд раньше по солнечному времени. Среднее суточное табличное опережение на самом деле на 10 секунд продолжительнее. Следовательно, реальный период обращения спутников системы Навстар GPS отличается от общепринятого, равного 12 часам звёздного времени.

Таблица 4 – Моменты времени UTC появления характерных точек графиков суточного хода в экспериментах 28 ноября 2011 года и 2 марта 2012 года

Дата эксперимента	Характерная точка графика			
	1	2	4	5
28 ноября 2011 года	7 час 6 мин	10 час 12 мин	18 час 51 мин	22 час 15 мин
02 марта 2012 года	0 час 39 мин	3 час 48 мин	12 час 30 мин	15 час 45 мин
Разность в часах	6,45	6,4	6,35	6,5
Разность в минутах	387	384	381	390
Средняя разность	4 мин 7,02 сек	4 мин 5,11 сек	4 мин 3,19 сек	4 мин 8,94 сек

Подводя итог проделанной работе, надо остановиться на следующих результатах.

1 Обнаружена значительная неравномерность числа спутников системы GPS над горизонтом в течение суток. Это предполагает непостоянство в течение суток точности ОМС для одного и того же места наблюдателя в средних широтах.

2 В конце июня 2011 года министерство обороны США завершило реконфигурацию кос-



Рисунок 3 – Суточный ход числа одновременно видимых спутников системы GPS 28 ноября 2011 года

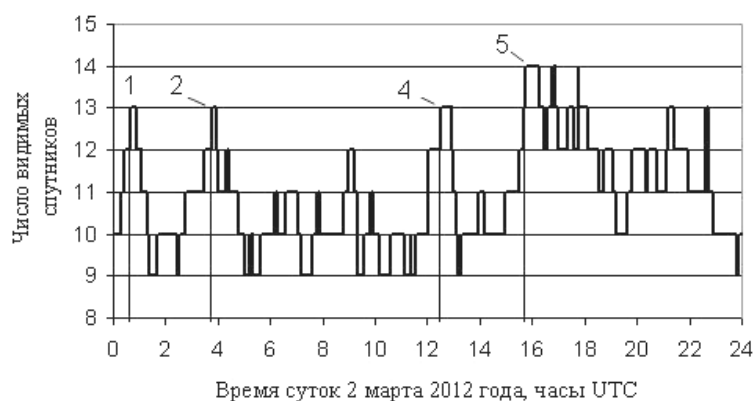


Рисунок 4 – Суточный ход числа одновременно видимых спутников системы GPS 2 марта 2012 года

мического сегмента СРНС Навстар GPS по объявленной программе Expandable-24 [1]. Цель программы Expandable-24 заключалась в перестановке ИСЗ по орбитам таким образом, чтобы достигать более высокой точности определения обсервованных координат. Как следует из проделанного анализа, при 31 действующем спутнике над окрестностями Владивостока размах варьирования числа видимых ИСЗ только возрос. Следовательно, с помощью перестановок спутников министерство обороны США может манипулировать точностью ОМС на желаемой территории.

3 Ранее автором было показано, что время присутствия спутников над горизонтом зависит от широты наблюдателя. Поэтому в широте, отличной от широты Владивостока, характер суточного хода будет отличаться от описанного в данной статье.

4 Известно, что для одного и того же места наблюдателя в средних широтах каждый спутник присутствует над горизонтом строго определённое и присущее только ему время. Поэтому, если число действующих спутников будет сохраняться равным 31, но их состав будет другим, то характеристики суточного хода будут изменяться.

5 Суточный ход числа спутников над горизонтом имеет период, близкий по продолжительности одним звёздным суткам. Окончательная его величина нуждается в уточнении, так как это позволит в дальнейшем предвычислять времени наступления начала и окончания интервалов, в течение которых обеспечивается ОМС с определённой точностью.

6 Полученные результаты позволяют подойти к созданию математической модели формирования погрешностей координат судового GPS-приёмника, учитывающей не только влияние ионосферы, но и количества видимых спутников.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard. -4th Edition. / Department of Defense U.S.A., September, 2008. -160 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** СРНС Навстар GPS, GPS-приёмник, спутники над горизонтом, суточный ход числа спутников, наблюдаемость спутников

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

## **О ТРАДИЦИОННЫХ НЕТОЧНОСТЯХ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМЫ СУДНО-ЖИДКОСТЬ**

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

**Б.В. Палагушкин, В.И. Тихонов**

**ABOUT TRADITIONAL DISCREPANCIES BY DRAWING UP OF THE EQUATIONS OF MOVEMENT OF SYSTEM A VESSEL-LIQUID**

«Novosibirsk state academy of water transport»

«Volga state academy of water transport»

B.V. Palagushkin, V.I. Tikhonov

The equations of any movement of a firm body in liquid were received for the first time by G. Kirkhgof in 1869, and A.M. Basin for the first time are made and applied to the analysis of movement of a vessel in 1949. However in article it is proved that without the corresponding explanations or reservations – the equation can't be considered made correctly, and, therefore, and the system of the equations needs specification.

*Keywords: equations, dynamics, vessel, liquid, movement*

Уравнения произвольного движения твёрдого тела в жидкости впервые были получены Г. Кирхгофом ещё в 1869 г., а впервые составлены и применены для анализа движения судна в 1949 г. А.М. Басиным. Однако в статье доказывается, что без соответствующих пояснений или оговорок – уравнение не может считаться составленным корректно, а, следовательно, и система уравнений нуждается в уточнении.

Уравнения произвольного движения твёрдого тела в жидкости впервые были получены Г. Кирхгофом ещё в 1869 г. [1], а впервые составлены и применены для анализа движения

судна в 1949 г. А.М. Басиным [2]. В случае плоскопараллельного движения на спокойной воде эти уравнения представляются следующим образом:

$$(m + \lambda_{11}) \frac{dv_x}{dt} - (m + \lambda_{22}) v_y \omega - \lambda_{26} \omega^2 = X; \quad (1)$$

$$(m + \lambda_{22}) \frac{dv_y}{dt} + (m + \lambda_{11}) v_x \omega + \lambda_{26} \frac{d\omega}{dt} = Y; \quad (2)$$

$$(J_z + \lambda_{66}) \frac{d\omega}{dt} + (\lambda_{22} - \lambda_{11}) v_x v_y + \lambda_{26} v_x \omega + \lambda_{26} \frac{dv_y}{dt} = M_z. \quad (3)$$

где  $m$  – масса судна;

$\lambda_{11}, \lambda_{22}$  – присоединённые массы жидкости;

$v_x, v_y$  – проекции линейной скорости ЦМ судна  $v$  на оси  $x$  и  $y$ ;

$\omega$  – угловая скорость вращения судна относительно оси  $z$ ;

$\lambda_{26}$  – присоединённый статический момент;

$J_z$  – момент инерции судна относительно вертикальной оси  $z$  подвижной системы координат;

$\lambda_{66}$  – момент инерции присоединённых масс жидкости;

$X$  – проекции главного вектора приложенных к судну сил неинерционной природы на оси  $x$  и  $y$  подвижной системы координат;

$M_z$  – проекция главного момента приложенных к судну сил неинерционной природы на ось  $z$  подвижной системы координат.

Инерционные усилия, входящие в левые части уравнений движения, определяются через кинетическую энергию системы [2]

$$T_s = T_1 + T_2 = 0,5(mv_x^2 + mv_y^2 + J_z \omega^2) + 0,5(\lambda_{11}v_x^2 + \lambda_{22}v_y^2 + \lambda_{66}\omega^2) + \lambda_{26}v_y \omega, \quad (4)$$

где  $T_s$  – кинетическая энергия системы судно-присоединённая жидкость;

$T_1, T_2$  – кинетические энергии соответственно судна и жидкости.

Проанализируем формулу для кинетической энергии жидкости

$$T_2 = 0,5(\lambda_{11}v_x^2 + \lambda_{22}v_y^2 + \lambda_{66}\omega^2) + \lambda_{26}v_y \omega. \quad (5)$$

На первый взгляд, она позволяет непосредственно и весьма просто – через скорости и ускорения самого судна – учесть инерционное воздействие на него со стороны жидкости. Однако в процессе движения судового корпуса происходит непрерывная смена окружающей его воды. Следовательно, движение частиц жидкости происходит со скоростями, существенно отличающимися от скоростей судна.

Кроме того, известно [3], что присоединённые массы нельзя трактовать как «прилипшие» к судну и движущиеся вместе с ним. Следовательно, присоединённая жидкость не совершает движения по криволинейной траектории и не испытывает воздействия инерционных усилий центробежного характера. Поэтому сил  $\lambda_{22}v_y \omega, \lambda_{26}\omega^2, \lambda_{11}v_x \omega$  и момента  $\lambda_{26}v_x \omega$  в левых частях уравнений (1)-(3) быть не должно.

Наконец, легко можно доказать [4], что никакого «инерционного» момента  $(\lambda_{22} - \lambda_{11})v_x v_y$  (полученного Г. Кирхгофом, а называемого, почему-то, моментом М. Мунка) в природе не существует.

Таким образом, выражение (5) – без соответствующих пояснений или оговорок – не может считаться составленным корректно, а, следовательно, и система уравнений (1)-(3) нуждается в уточнении.

В теоретической механике существуют два основных подхода к составлению уравнений движения той или иной системы.

При первом подходе, основанном на принципе Д'Аламбера, к фактически действующим на механическую систему внешним усилиям добавляются соответствующие усилия инерционной природы. В результате система становится равновесной и для описания ее движения используются уравнения статики. Из статики известно [5], что геометрическая сумма сил, приложенных к находящейся в равновесии системе, и их моментов относительно любого центра (или оси) равны нулю. Тогда на основании принципа Д'Аламбера можем записать:

$$F_{x_1} + F_{x_2} = X; \quad (6)$$



$$F_{y_1} + F_{y_2} = Y; \quad (7)$$

$$M_{z_1} + M_{z_2} = M_z, \quad (8)$$

где  $F_x, F_y, M_z$  – инерционные усилия, действующие на корпус судна;

$F_x, F_y, M_z$  – инерционные усилия, действующие на присоединенную жидкость.

Второй подход к составлению уравнений движения системы основан на более общем принципе Д'Аламбера-Лагранжа [5], согласно которому в каждый данный момент времени сумма элементарных работ всех приложенных к системе активных и инерционных усилий на любом возможном перемещении системы будет равна нулю.

Заметим, что к числу активных относятся все силы неинерционного происхождения, не являющиеся реакциями связей [5]. Поскольку возможные перемещения судна могут ограничиваться лишь размерами водоема, то судовой корпус по отношению к окружающей его воде является телом свободным. Поэтому применительно к системе судно-жидкость понятия «активные» и «внешние» силы тождественны. Следовательно, принцип Д'Аламбера-Лагранжа может быть выражен следующим образом

$$(F_{x_1} + F_{x_2})dx = Xdx; \quad (9)$$

$$(F_{y_1} + F_{y_2})dy = Ydy; \quad (10)$$

$$(M_{z_1} + M_{z_2})d\psi = M_z d\psi, \quad (11)$$

где  $d\psi$  – изменение курса судна.

Выражения (6)-(11) свидетельствуют о том, что единственным условием, необходимым и достаточным для корректного составления общих уравнений движения судна, является правильная оценка инерционных усилий, действующих на присоединенную жидкость. Для определения этих усилий необходимо учитывать следующие обстоятельства.

1 Движение присоединенной воды вызвано лишь движением судна. Поэтому в силу несжимаемости и нерастяжимости жидкости линейные и угловые ускорения, характеризующие движение судна, непосредственно сообщаются частицам воды, примыкающим к его корпусу.

2 По отношению к воде судно является свободным телом, поэтому в процессе его движения частицы обтекающей судовой корпус жидкости непрерывно сменяют друг друга. То есть жесткой (геометрической [5]) связи, определяющей положение частиц присоединенной жидкости относительно инерциальной системы отсчета (неподвижной системы координат), между корпусом судна и частицами присоединенной воды не существует. Таким образом, присоединенная жидкость не совершает вместе с судном движения по криволинейной траектории и не испытывает воздействия инерционных усилий центробежного характера.

С учётом этих обстоятельств становится очевидным, что выражение (5) должно сопровождаться следующим примечанием: в данном виде формула кинетической энергии присоединенной жидкости может быть использована лишь для определения инерционных усилий, обусловленных линейными или угловыми ускорениями в движении судна.

Тогда при любом подходе к составлению уравнений движения системы судно-жидкость получается

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_s}{\partial v_x} \right) - \frac{\partial T_1}{\partial v_y} \omega = X; \quad (12)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_s}{\partial v_y} \right) + \frac{\partial T_1}{\partial v_x} \omega = Y; \quad (13)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_s}{\partial \omega} \right) = M_z. \quad (14)$$

Таким образом, с учётом выражения (4) корректная форма уравнений плоскопараллельного движения судна будет иметь следующий вид

$$(m + \lambda_{11}) \frac{dv_x}{dt} - mv_y \omega = X; \quad (15)$$

$$(m + \lambda_{22}) \frac{dv_y}{dt} + mv_x \omega + \lambda_{26} \frac{d\omega}{dt} = Y; \quad (16)$$

$$(J_z + \lambda_{66}) \frac{d\omega}{dt} + \lambda_{26} \frac{dv_y}{dt} = M_z. \quad (17)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ламб, Г. Гидродинамика / Г. Ламб. -М.; Л.: Гостехиздат, 1947. -928 с.
- 2 Басин, А.М. Теория устойчивости на курсе и поворотливости судна / А.М. Басин. -Л.; М.: Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1949. -228 с.
- 3 Павленко, В.Г. Маневренные качества речных судов: (управляемость судов и составов) / В.Г. Павленко. -М.: Транспорт, 1979. -184 с.
- 4 Тихонов, В.И. Основы теории динамической системы судно-жидкость / В.И. Тихонов. -Н. Новгород: ФГОУ ВПО «Волж. гос. акад. вод. трансп.», 2007. -262 с.
- 5 Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики / С.М. Тарг. -М.: Наука, 1968. -480 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** уравнения, динамика, судно, жидкость, движение  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Палагушкин Борис Владимирович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Тихонов Вадим Иванович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 603950, г. Н. Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## ПОСТРОЕНИЕ АППРОКСИМАЦИОННЫХ ВЫРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ РАЗДЕЛА «ОСТОЙЧИВОСТЬ» РОССИЙСКОГО РЕЧНОГО РЕГИСТРА ДЛЯ БУКСИРНЫХ СУДОВ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**П.А. Бимбереков, С.А. Андреева, М.А. Луцковская, Н.Д. Захарова**

### CONSTRUCTION OF APPROXIMATING FORMULAE FOR RELATIONSHIPS OF SECTION «STIFFNESS» OF RUSSIAN RIVER REGISTER FOR TUGBOATS

«Novosibirsk state academy of water transport»

P.A. Bimberekov, S.A. Andreeva, M.A. Luckovskaja, N.D. Zaharova

It is considered construction of approximating formulae of table relationships of section «Stiffness» of russian river register for tugboats intended for addition to analytical apparatus for stiffness calculation according to main criterion [1] with additional special requirements for given type of ships.

*Keywords: stiffness, tugboat, normatives*

Рассматривается получение аппроксимационных выражений табличных зависимостей раздела «Остойчивость» российского речного регистра для буксирных судов, предназначенное для дополнения аналитического аппарата расчёта остойчивости по основному критерию [1] дополнительными специальными требованиями для данного вида судов.

Полученные ранее аппроксимационные зависимости для расчёта остойчивости по основному критерию [1] были представлены в Центр разработки правил российского речного регистра (РРР) и вызвали определённый интерес. Поэтому представилось целесообразным продолжить процедуру получения аппроксимационных зависимостей для специализированных судов. Подавляющее число необработанных ранее табличных зависимостей РРР могут быть отнесены к буксирным судам. При этом элементы выражений для контроля остойчивости на эволюции применимы для пассажирских и грузовых судов. Ниже приведены (рисунков 1-6) варианты аппроксимационных выражений (точки – табличные значения РРР, линии – аппроксимационные зависимости).

Для оценки кренящего момента на эволюции в [2] использован коэффициент  $a_3$ , учитывающий смещение центра бокового давления по высоте при дрейфе судна, имеющий зависимость от отношения ширины судна к его средней осадке  $B/T$ .

$$a_3 = 1,015(B/T)^3 - 0,282(B/T)^2 + 0,662(B/T) + 0,62; \quad (1)$$

при  $B/T \leq 2,5$ ;  $a_3 = 0,73$ ; при  $B/T \geq 10,0$ ;  $a_3 = -6,00$ .

Погрешность выражения (1) с учётом знака коэффициента  $a_3$  в выражении для динамически приложенного кренящего момента составляет в опасную сторону не более 2,31%, а в безопасную сторону не более 5,4%.

При расчётной оценке остойчивости буксиров на статическое воздействие буксирного каната РРР использует коэффициенты  $f_1, f_2$  представленные табличными данными, аппроксимация которых представлена на рисунке 2 и выражениями (2) и (3).

$$f_1 = -0,0209(B/T)^2 + 0,3767(B/T) + 1,18; \quad (2)$$

при  $V/T \leq 2,5$ ;  $f_1 = -0,44$ ; при  $V/T \geq 8,0$ ;  $f_1 = 0,50$ .  
 $f_2 = 0,0058(V/T)^3 - 0,0904(V/T)^2 + 0,3512(V/T) + 0,3216$ ; (3)  
 при  $V/T \leq 2,5$ ;  $f_2 = 0,72$ ; при  $V/T \geq 8,0$ ;  $f_2 = 0,30$ .

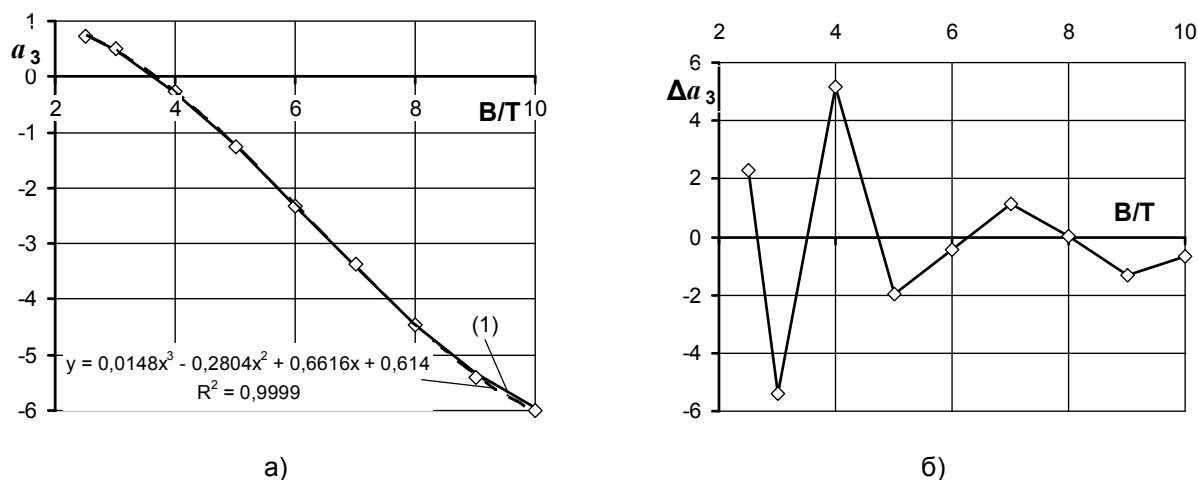


Рисунок 1 – Аппроксимация табличных значений коэффициента  $a_3$  аналитическим выражением (1): а)-зависимость; б)-погрешность зависимости, %

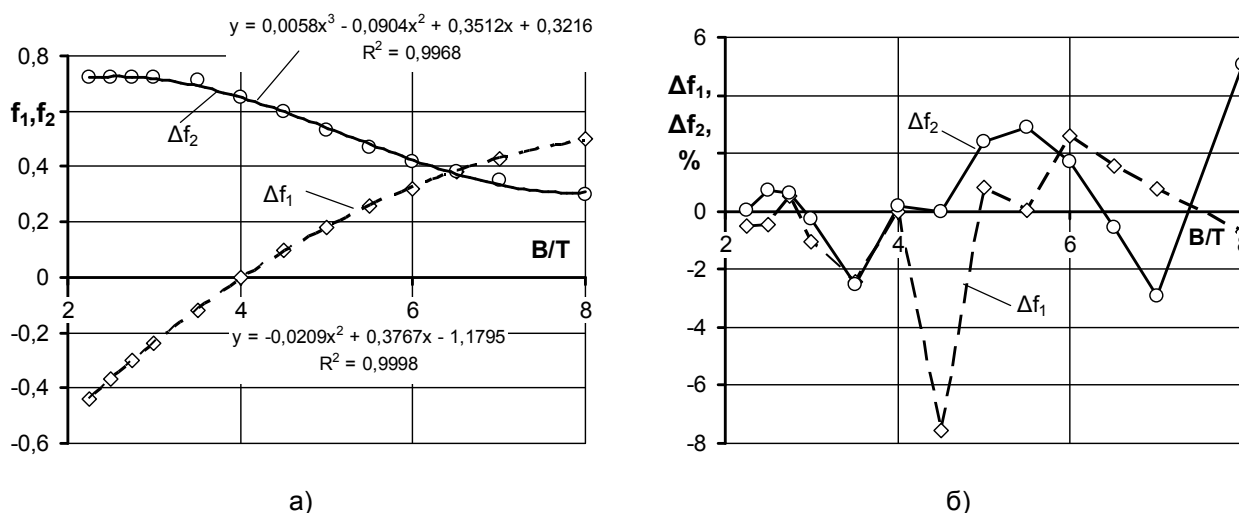


Рисунок 2 – Аппроксимация табличных значений коэффициентов  $f_1$  и  $f_2$  аналитическими выражениями (2) и (3): а)-зависимость; б)-погрешность зависимости, %

Проанализируем величину погрешности выражений (2) и (3) исходя из структуры зависимости для кренящего момента от статического действия буксирного каната [2]. Погрешность зависимости (2) в 7,6% в точке  $V/T = 5$  несёт ошибку в опасную сторону, однако её можно считать несущественной, так как значение в данной точке коэффициента  $f_1 = 0,1$  мало и он складывается с, как правило, существенно большей величиной  $z_r/B$  (пояснена ниже). Погрешность (2) в прочих точках не превышает 2,5%, что можно считать допустимым. Погрешность зависимости (3) в 5,1% в точке  $V/T = 8$  несёт ошибку в безопасную сторону, при этом максимальная погрешность в опасную сторону составляет менее 3%, что можно считать допустимым.

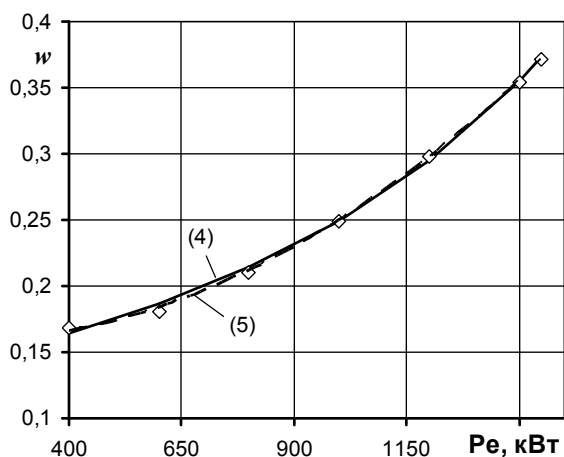
Остойчивость буксирных судов при условии положения точки приложения силы натяжения буксирного каната от основной плоскости  $z_r \geq 1,2z_g$  (здесь  $z_g$  -отстояние центра тяжести судна от основной плоскости) предполагается проверять на динамическое действие буксирного каната [2]. В структуре зависимостей РРР для этого случая нагрузки использованы заданные таблично: множитель  $w$ , параметр  $q_2$  и коэффициенты  $q_1, q_3$ . Для этих элементов дадим следующие зависимости.

$$w = (3,62 - 0,00121P_e)^{-1,58}; \quad (4)$$

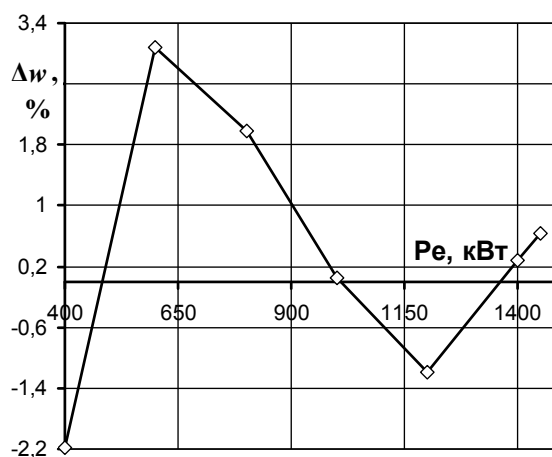
$$w = 1,31 \cdot 10^{-7} P_e^2 - 4,73 \cdot 10^{-5} P_e + 0,165; \quad (5)$$

при  $P_e \leq 400$  кВт;  $w = 0,168$ ; при  $P_e \geq 1450$  кВт;  $w = 0,371$ .

Погрешность выражения (4) для множителя  $w$  составляет в опасную сторону не более 2,2%, а в безопасную сторону не более 3,1%. Соответственные значения для выражения (5) составляют 0,57% и 1,54%.

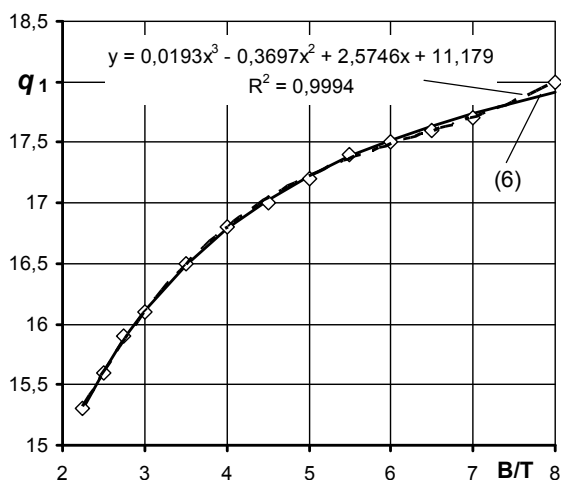


а)

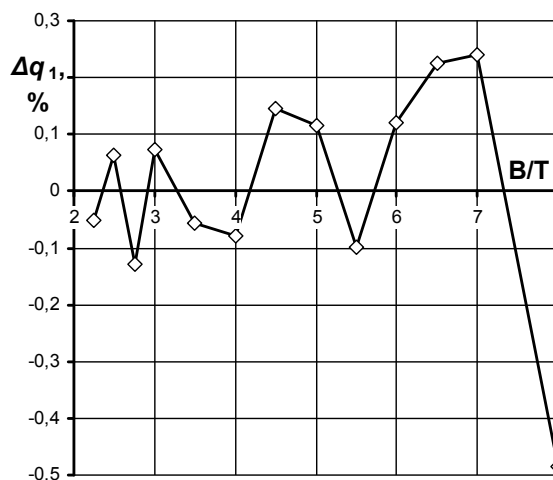


б)

Рисунок 3 – Аппроксимация табличных значений множителя  $w$  аналитическим выражением (4): а)-зависимость; б)-погрешность зависимости, %



а)



б)

Рисунок 4 – Аппроксимация табличных значений коэффициента  $q_1$  аналитическим выражением (7): а)-зависимость; б)-погрешность зависимости, %

$$q_1 = 19,2 \frac{V/T}{0,575 + V/T}; \quad (7)$$

при  $V/T \leq 2,5$ ;  $q_1 = 15,3$ ; при  $V/T \geq 8,0$ ;  $q_1 = 18,0$ .

Погрешность выражения (7) для коэффициента  $q_1$  в выражении для динамически приложенного кренящего момента составляет в опасную сторону не более 0,49%, а в безопасную сторону не более 0,24%. Погрешность коэффициента  $q_1$  существенно (не менее чем в 4 раза нивелируется его сомножителем в выражении для динамически приложенного кренящего момента).

$$q_2 = -13 \frac{z_g}{B} + 0,56 \frac{B}{T} + 11,56; \quad (8)$$

$$\text{при } B/T \leq 2,5; q_2 = -11,7 \frac{z_g}{B} + 10,325; \quad (9)$$

$$\text{при } B/T \geq 8,0; q_2 = -9 \frac{z_g}{B} + 7,325. \quad (10)$$

Погрешность выражения (8) составляет в опасную сторону не более 2,4%, а в безопасную сторону не более 3,0%.

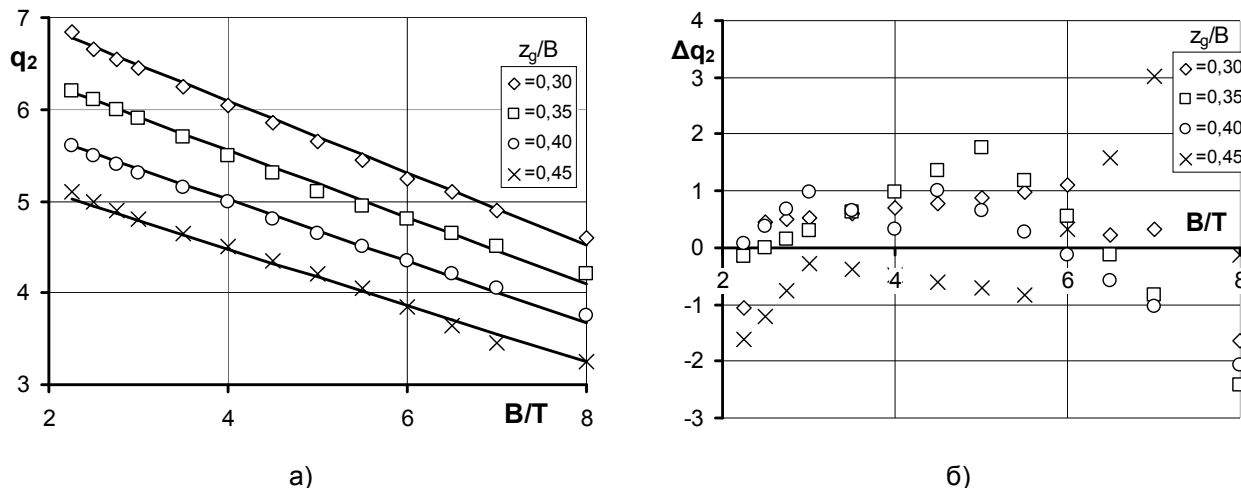


Рисунок 5 – Аппроксимация табличных значений коэффициента  $q_2$  аналитическим выражением (8): а)-зависимость; б)-погрешность зависимости, %

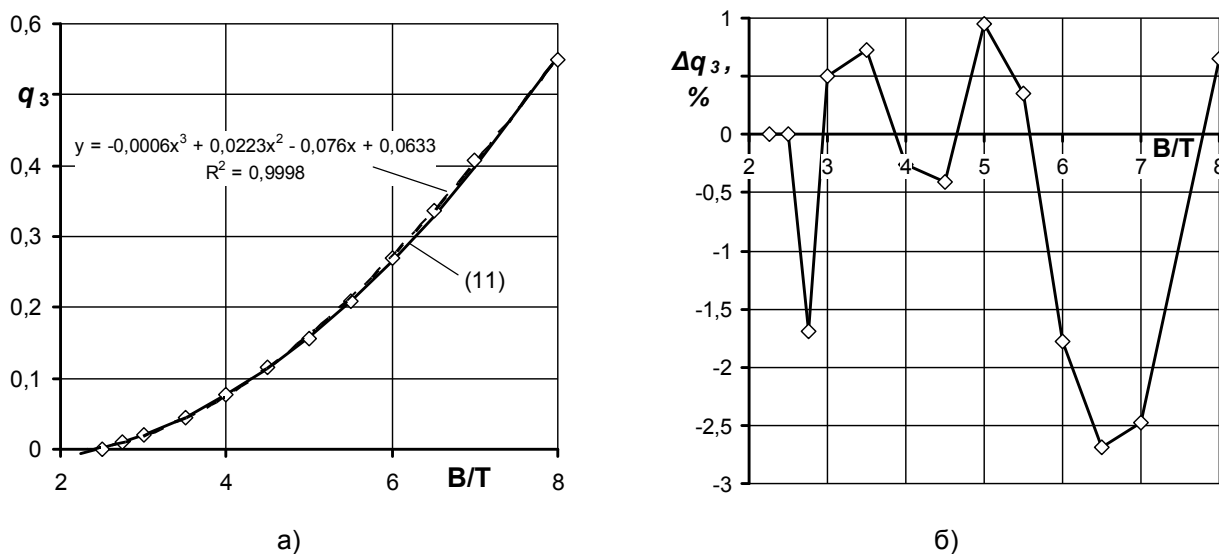


Рисунок 6 – Аппроксимация табличных значений коэффициента  $q_3$  аналитическим выражением (11): а)-зависимость; б)-погрешность зависимости, %

$$q_3 = 0,0125 \left( \frac{B}{T} \right)^2 - 0,0308 \frac{B}{T}; \quad (11)$$

$$\text{при } B/T \leq 2,5; q_3 = 0; \text{ при } B/T \geq 8,0; q_3 = 0,55.$$

Погрешность выражения (11) составляет в опасную сторону не более 2,7%, а в безопасную сторону не более 0,96%.

Примечание.

1 Отметим, что полученные аппроксимационные выражения имеют значения максимальных погрешностей при разных значениях осадки, причём погрешности имеют зачастую разные знаки и должны некоторым образом компенсировать друг друга в общих выражениях кренящих моментов.

2 Определение осадки судна в процессе эксплуатации составляет несколько процентов, поэтому вероятно может быть допущена погрешность расчётных выражений, базирующихся

на значении осадки также в несколько процентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бимбереков, П.А. Построение аппроксимационных выражений для зависимостей раздела «Остойчивость» Российского Речного Регистра (РРР) / П.А. Бимбереков // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№1. -С. 159-162.  
2 Речной Регистр. Правила. В 4 т. Т.2. -М.: Новости, 2009. -406 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *стойчивость, буксир, нормативы*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Бимбереков Павел Александрович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
*Андреева Софья Антоновна, студент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
*Луцковская Мария Александровна, студент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
*Захарова Наталья Дмитриевна, студент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ БАРЖ-ПЛОЩАДОК ПРОЕКТА №Р-56 В РАЗРЯДЕ ПЛАВАНИЯ «М-СП» РОССИЙСКОГО РЕЧНОГО РЕГИСТРА ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ТРЕБОВАНИЙ К УСКОРЕНИЯМ БОРТОВОЙ КАЧКИ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.А. Бимбереков

**ESTIMATION OF POSSIBILITY FOR APPLICATION MODERNIZED BARGE-DECKS OF DESIGN № P-56 IN CATEGORY OF SAILING «М-СП» OF RUSSIAN RIVER REGISTER ON PROVISION OF REQUIREMENTS TO ACCELERATIONS OF ROLLING MOTION**

«Novosibirsk state academy of water transport»  
P.A. Bimberekov

It is being estimated possibility for matching to norms of RRR on restriction of rolling motion frequency while transportation of bulk cargoes on ships of «М-СП 3,5» class for barge-deck of design №СКС013/Р-56, created on base of design №Р-56.

*Keywords: rolling motion frequency, barge-deck, bulk cargo*

Оценивается возможность удовлетворения нормам РРР по ограничению частоты бортовой качки при перевозке навалочных грузов на судах класса «М-СП 3,5» для баржи-площадки проекта №СКС013/Р-56, созданного на базе проекта №Р-56.

Для оценки возможности снижения ускорений при бортовой качке рассмотрим структуру зависимостей, её определяющую, согласно требований РРР [1]. В соответствие с п. 12.2.14 ПССП, часть I, «Корпус» [1] остойчивость судов, перевозящих навалочные грузы, должна отвечать следующим требованиям:

– расчетное ускорение при бортовой качке (в долях  $g$ )  $a_{расч}$  не должно превышать 0,3, то есть критерий ускорения

$$K^* = 0,3/a_{расч} \geq 1; a_{расч} = 1,1 \cdot 10^{-3} B m_1^2 \theta'_m,$$

где  $B$  – ширина судна по действующую ватерлинию;

$m_1$  – множитель, определяемый в соответствии с 12.6.3 ч. I ПСВП [2];

$\theta'_m = f(m)$  – амплитуда качки, определяемая в соответствии с 12.6 ч. I ПСВП в зависимости от частоты  $m$

$$m = m_1 m_2 m_3, \text{ град.}; \tag{1}$$

– в тех случаях, когда  $K^* < 1$ , допустимая высота волны 3%-ной обеспеченности принимается по данным таблицы 1.

*Таблица 1 – Допускаемая высота волны 3%-ной обеспеченности в зависимости от значения расчётного ускорения бортовой качки  $K^*$*

$K^*$	1,0 и более	1,0-0,5	0,5 и менее
$h_{3\%}$	3,5	3,0	2,5

Согласно п.12.6.3 ПСВП, часть I, «Корпус» [2] множитель  $m_1$ , характеризующий частоту собственных колебаний судна (на тихой воде), следует определять по формуле

$$m_1 = m_0 / \sqrt{h_0}, \text{ с}^{-1}, \tag{2}$$

где  $h_0$  – метацентрическая высота, соответствующая варианту нагрузки судна, вычис-

ляемая без учета влияния свободной поверхности жидких грузов, м;  
 $m_0$  – коэффициент, значения которого следует принимать в зависимости от параметра

$$n_1 = h_0 B / (z_g \sqrt[3]{V}), \quad (3)$$

где  $V$  – водоизмещение судна при средней осадке  $T$ , по действующую ватерлинию, м<sup>3</sup>;  
 $z_g$  – возвышение центра тяжести судна над основной плоскостью для данного варианта нагрузки, м.

Множитель  $m_2$  зависит от отношения ширины судна к его средней осадке  $B/T$ . Множитель  $m_3$  зависит от коэффициента полноты водоизмещения  $\delta$ .

Рассмотрим члены зависимости для ускорения  $a_{расч}$ . Ширина судна в нашем случае величина постоянная. Множители  $m_2$  и  $m_3$  в силу сохранения ширины судна, его осадки, водоизмещения судна и соответственно коэффициента полноты водоизмещения считаем также постоянными для нашего случая при загрузке судна на определённую осадку. Соответственно могут быть изменены лишь значения  $z_g$ ,  $h_0$  и производные значения  $m_1$ , и  $\theta'_m$ . При повышении центра тяжести судна у нас произойдёт уменьшение величины метацентрической высоты, очевидно, что параметр  $n_1$  уменьшится, так как у него в этом случае сократится числитель и вырастит знаменатель. При уменьшении параметра  $n_1$  уменьшится и множитель  $m_1$ , хотя это снижение несколько компенсирует уменьшение знаменателя выражения для  $m_1$  пропорционально корню из долевого понижения величины метацентрической высоты. Частота  $m$  уменьшится прямо пропорционально уменьшению множителя  $m_1$ .

Для множителя  $m_0$  имеем следующую аппроксимационную зависимость [3]

$$m_0 = 3,66 - 3,43 \exp(-n_1^{1,25}), \text{ при } n_1 \geq 3 \text{ значение } m_0 = 3,6. \quad (4)$$

Для величины  $\theta_m$  без учета наличия килей имеем также аппроксимационную зависимость [3]

$$\theta_m = 31 - 19,3 \exp(-1,9m^{2,9}), \text{ при } m \geq 1,8 \text{ значение } \theta_m = 31^\circ. \quad (5)$$

На основе приведённых выражений можно получить значение изменения центра тяжести судна, при котором ускорения бортовой качки будут соответствовать требованиям РРР для данной высоты волны 3% обеспеченности.

Несколько преобразуем выражения (2) и (3) полагая, что изменение метацентрической высоты при прочих равных условиях зависит только от изменения центра тяжести судна

$$m_{1H} = \frac{m_{0H}}{\sqrt{h_{0H}}} = \frac{m_{0H}}{\sqrt{h_0 - \Delta z_g}} = \frac{m_{0H} / \sqrt{z_g}}{\sqrt{h_0 / z_g - \Delta z_g / z_g}} = \frac{m_{0H} / \sqrt{z_g}}{\sqrt{h_0 / z_g - K_g}}; \quad (6)$$

$$n_{1H} = \frac{h_{0H} B}{z_{gH} \sqrt[3]{V}} = \frac{(h_0 - \Delta z_g) B}{(z_g + \Delta z_g) \sqrt[3]{V}} = \frac{(h_0 / z_g - K_g) B}{(1 + K_g) \sqrt[3]{V}}; \quad (7)$$

$$K_g = \Delta z_g / z_g,$$

где  $H$  – индекс, обозначающий величину параметра после изменения величины центра тяжести судна на величину  $\Delta z_g$ ;

$K_g$  – отношение приращения аппликаты центра тяжести судна с исходному её значению.

Тогда имеем систему уравнений

$$\begin{cases} a_{расч} = 1,1 \cdot 10^{-3} B m_{1H}^2 \theta'_{mH} \leq 0,3; \\ \theta'_{mH} \equiv \theta_{mH} = 31 - 19,3 \exp(-1,9m_{1H}^{2,9}); m_H = m_{1H} m_2 m_3; \\ m_{1H} = \frac{m_{0H} / \sqrt{z_g}}{\sqrt{h_0 / z_g - K_g}}; \\ m_{0H} = 3,66 - 3,43 \exp(-n_{1H}^{1,25}); \\ n_{1H} = \frac{(h_0 / z_g - K_g) B}{(1 + K_g) \sqrt[3]{V}}; K_g = \Delta z_g / z_g, \end{cases} \quad (8)$$

В любом случае требуется стараться повысить центр тяжести судна и возможно ещё независимо от этого понизить метацентрическую высоту, например, установкой скуловых килей.

Создание герметичных отсеков по бортам на грузовой палубе позволяет разместить в них балласт, то есть произвести корректировку метацентрической высоты в меньшую сторону при прочих равных условиях.

Для определения потребной площади скуловых килей  $S_K$ , обеспечивающей заданное значение расчетной условной амплитуды бортовой качки  $\theta'_m$ , град., при известном значении амплитуды бортовой качки для судна без килей,  $\theta_m$ , град., на основе предложенных аппроксимаций не сложно получить следующую зависимость [3]

$$\frac{S_K}{LB} = \frac{0,0209}{r_3 \alpha \sqrt{B}} \left[ \frac{7(1-k)}{k-0,562} \right]^{0,54} - 0,0209 r_2 + 0,005. \quad (9)$$

Для коэффициента  $r_1$ , характеризующий эффективность действия скуловых килей, имеющих суммарную площадь имеем [3]:

– при  $4,0 \geq 100S_K/(LB)$

$$r_1 = 47,8 \frac{S_K}{LB} - 0,241; \quad (10)$$

– при  $4,0 < 100S_K/(LB)$

$$r_1 = 1,66. \quad (11)$$

Коэффициент  $r_2$ , учитывающий влияние коэффициента общей полноты корпуса судна  $\delta$  на эффективность скуловых килей, для него получено аппроксимационное выражение

$$r_2 = \frac{-0,116 + 0,25\delta}{1 - 2,7\delta + 2\delta^2}, \text{ при } \delta \geq 0,85; r_2 = 0,64. \quad (12)$$

Для поправочного коэффициента к амплитуде бортовой качки,  $k$ , обусловленного наличием скуловых килей в зависимости от параметра  $q$  [2] получено аппроксимационное выражение [3]

$$k = 1 - \frac{0,438q^{1,85}}{7 + q^{1,85}}, \text{ при } q \geq 8; k = 0,62. \quad (13)$$

Коэффициент  $r_3$ , учитывающий влияние отношения  $B/T$  на эффективность скуловых килей [3]

$$r_3 = 1 + 0,166 B/T, \text{ при } B/T \geq 10; r_3 = 2,6. \quad (14)$$

Используя (10)-(12) из (9) получим

$$S_K = LB \left\{ 0,0209 \frac{\left[ 7 \left( \frac{1-k}{k-0,562} \right) \right]^{0,54}}{\left( 1 + 0,166 \frac{B}{T} \right) \alpha \sqrt{B}} - 0,0209 \frac{-0,116 + 0,25\delta}{1 - 2,7\delta + 2\delta^2} + 0,005 \right\}. \quad (15)$$

Следует проверять наступление условий (11)-(13) и корректировать (15).

Значение коэффициента  $k$  для выражений (9) и (15) определим из равенства

$$k = \theta'_m / \theta_m. \quad (16)$$

Задаваясь желаемым значением величины  $\theta'_m$  согласно выражения (9) или (16) определяется потребное значение площади скуловых килей  $S_K$ .

Произведем расчёт по выражениям (8)-(16) для нашего случая. В таблице 2 приведены результаты расчёта остойчивости для баржи-площадки по проекту СКС013.Р-56 с классом PPP «МЗ,0». В таблице 3 результаты расчёта по выражениям (8).

Таблица 2 – Расчет остойчивости баржи по проекту СКС013.Р-56 с классом PPP «МЗ,0»

Обозначение величин	Судно с грузом (1957 т)	Судно с грузом (1700 т)	Судно порожнем
$s_n, \text{ м}^2$	302,8	472,5	343,0
$Z_n, \text{ м}$	3,96	4,64	2,38
$Z_T, \text{ м}$	1,86	2,75	1,90
$a_1$	1,20	1,28	1,30



## СУДОВОЖДЕНИЕ

Продолжение таблицы 2

Обозначение величин	Судно с грузом (1957 т)	Судно с грузом (1700 т)	Судно порожнем
$a_2$	0,52	0,40	0,66
$z$ , м	3,18	3,70	2,31
$\rho$ , Па	230	260	227
$M_{кр}$ , кН·м	218	455	180
$D$ , кН	24173	21611	4936
$h_0$ , м	9,52	10,1	58,9
$V$ , м <sup>3</sup>	2460	2203	503
$z_q$ , м	3,71	4,59	2,17
$n_1$	3,13	2,82	52,8
$m_0$	3,6	3,56	3,6
$m_1$	1,16	1,12	0,47
$B/T$	8,09	9,10	39,2
$m_2$	0,96	0,98	1,00
$m_3$	0,66	0,66	0,66
$m$	0,735	0,724	0,31
$\theta_m$ , град.	22	22	14
$M_{доп}$ , кН·м	7481	7996	31337
Результаты сравнения	$M_{кр} \ll M_{доп}$	$M_{кр} \ll M_{доп}$	$M_{кр} \ll M_{доп}$
Запас остойчивости	34,3	17,6	174,1

Таблица 3 – Расчет по зависимостям (8)

Обозначение величин	Судно с грузом (1957 т)*		Судно с грузом (1700 т)*		Судно порожнем СКС013.Р-56
	СКС013.Р-56	новое	СКС013.Р-56	новое	
$K_g$	0	1,045	0	0,793	0
$n_{нН}$	3,135	0,908	2,790	0,995	56,31
$m_{0Н}$	3,600	2,247	3,567	2,391	3,600
$m_{1Н}$	1,167	0,946	1,122	0,941	0,4690
$m_{Н}$	0,739	0,599	0,726	0,608	0,310
$\theta_{mН}$	22,25	18,45	21,89	18,69	12,89
$a_{расчН}$	0,550	0,300	0,500	0,300	0,051

\*-требуется существенное повышение центра тяжести, что практически невозможно

Рассмотрим возможность установки скуловых килей, используя выражения (9)-(16), расчёт приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет возможных параметров скуловых килей (скуловое закругление составляет 0,3 м, соответственно ширина скулового кия должна быть не более 0,115 м)

Обозначение величин	Судно с грузом (1957 т)	Судно с грузом (1700 т)
$B/T$	8,09	9,10
$k$	0,546	0,599
$r_2$	0,64	0,64
$r_3$	2,343	2,481
$S_K/LB$	результат недостижим	0,0129
$S_K$ , м <sup>2</sup>	результат недостижим	17,16
При длине скуловых килей $l_{СК} = 60$ м	результат недостижим	0,143

В силу того, что размер реально возможного скулового кия меньше, чем потребное для судна с грузом 1700 т, а для судна порожнем нет необходимости в скуловых киях, то можно заключить, что при несколько меньшей загрузке, чем 1700 т судно сможет удовлетворить требованиям по нормам к ускорению бортовой качки для разряда плавания М-СП3,5. Удов-

летворение данному критерию определит допустимую грузоподъемность для перевозки минерально-строительных грузов именно при высоте нормативной волны 3% обеспеченности величиной 3,5 м. Соответственно при предусмотренном РРР снижении нормативной высоты волны также может быть определена величина грузоподъемности судна.

Примечание. Отметим, что потенциально, размещение части балластных цистерн вдоль бортов на грузовой палубе позволит их использовать в качестве успокоительных цистерн 1-го рода (пассивные цистерны).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Российский Речной Регистр. Правила. В 4 т. Т.4. -М.: Новости, 2009. -317 с.
- 2 Российский Речной Регистр. Правила. В 4 т. Т.2. -М.: Новости, 2009. -406 с.
- 3 Бимбереков, П.А. Построение аппроксимационных выражений для зависимостей раздела «Остойчивость» Российского Речного Регистра (РРР) / П.А. Бимбереков // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№1. -С. 159-162.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** частота бортовой качки, баржа-площадка, навалочный груз  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Бимбереков Павел Александрович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## **ДОМИНИРУЕМЫЕ И НЕДОМИНИРУЕМЫЕ РИСКИ ПРИ РАЗРЕШЕНИИ ПРОБЛЕМНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИТУАЦИИ**

ФБОУ ВПО «Государственная морская академия  
 им. адм. С.О. Макарова  
 ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический  
 университет»

**Д.В. Ключко, А.А. Сиротюк, В.И. Меньшиков**

### **DOMINATED AND NON-DOMINATED RISKS IN RESOLVING OF THE PROBLEM NAVIGATIONAL SITUATIONS**

«State maritime academy named adm. S.O. Makarov»

«Murmansk state technical university»

D.V. Klyuchko, A.A. Sirotyuk, V.I. Menshikov

In this article authors propose the contingencies permitting to single out dominated risks which influence on safe resolving of the problem navigational situation.

*Keywords: safety, seafaring, situation, domination, risks*

Предложены ограничения, позволяющие выделить доминируемые риски, оказывающие влияние на безопасное разрешение проблемной навигационной ситуации.

Современный подход к оценке безопасности мореплавания основан на результатах реакции на текущую навигационную информацию, и не учитывает возможность заблаговременности в действиях и решениях по управлению состоянием судна. Разрешение проблемных ситуаций с целью улучшить состояние безопасности мореплавания, обычно осуществляется судоводителями на основе данных о наблюдаемой ситуации под давлением такого фактора, как «хорошая морская практика». Поэтому при разрешении проблемных навигационных ситуаций судоводители вынуждены отдавать предпочтение быстродействующим интуитивным решениям, не выполняя оценку ни возможных затрат, ни возможной выгоды от получаемого результата.

Проблемную навигационную ситуацию можно описать с помощью математической структуры, которая включает основные элементы навигационного пространства и связи между этими элементами. В рамках такого подхода структуру проблемной навигационной ситуации можно представить так

$$\eta = (\Lambda, V, G, H, R, Y, Q), \quad (1)$$

где  $\Lambda$  – множество детерминированных и случайных факторов, определяющих безопасное состояние мореплавания;

$V$  – множество управлений, используемых лицом, несущим ходовую штурманскую вахту (лицом, принимающим решения – ЛПР);

$G$  – множество результатов, получаемых в процессе несения ходовой вахты;

$H$  – множество моделей (отображений) навигационных процессов адекватных  $\Lambda, V, G$ ;

$R$  – глобальная цель разрешения проблемной навигационной ситуации;

- $Y$  – множество операторов соответствия;  
 $Q$  – множество критериев эффективности.

Пусть в модели проблемной навигационной ситуации (1) заданы компоненты множества  $\Lambda$ , определено множество управлений  $V$ , принята модель  $H$ , а так же задан критерий эффективности  $Q$ . Если критерий эффективности  $Q$ , принят априорно и не приводит к выбору «худших» или «лучших» управлений из множества  $V$ , то при анализе деятельности ЛПР следует использовать составные критерии и решающие правила, определенные, например, на множестве  $G - P_G$ .

В целом модель проблемной навигационной ситуации (1) может быть успешно разрешена ЛПР с привлечением навигационной информации, цели  $R$  разрешения этой ситуации, состава множеств  $V$  и  $\Lambda$ . Такие данные позволяют ЛПР выбрать характеристики оператора соответствия  $Y$ , в функции от полученного или возможного результата  $G$ .

Пусть в выражении (1) множество факторов, формирующих состояние безопасности мореплавания, обладает свойствами

$$\Lambda = \Lambda_1 \cup \Lambda_2 \text{ и } \Lambda_1 \cap \Lambda_2 = \emptyset, \text{ а } \Lambda_1 \neq \emptyset \quad \Lambda_2 \neq \emptyset, \quad (2)$$

где  $\Lambda_1$  – множество факторов, определяющих эффективную реализацию логической программы навигационной эксплуатации судна;

$\Lambda_2$  – множество случайных факторов, мешающих реализации логической программы навигационной эксплуатации судна и отрицательно влияющих на его состояние безопасности.

Физические или морфологические результаты для оператора соответствия из структуры (1) можно получить в рамках отображения, записанного так

$$H : V \times \Lambda_2 \rightarrow Y(G). \quad (3)$$

Очевидно, что результаты  $Y(G)$ , в первую очередь, определяют количественную оценку влияния случайных факторов несущих навигационную опасность судну. Поэтому далее будем полагать, что количественная оценка результата (3) осуществляется в рамках предложенной Международной Морской Организацией (ИМО), концепции формальной оценки безопасности (ФОБ) и Временного руководства к ней.

Рекомендации по применению ФОБ используются лишь при систематическом анализе различных вариантов управления состоянием безопасности мореплавания, а также оценке как затрат, так и выгод для этих вариантов, но лишь в том случае, если эти варианты управления применяются. Поэтому окончательное решение относительно безопасности мореплавания делается на основе тщательно выполненного анализа, при этом определение рисков в соответствии с концепцией ФОБ рекомендуется осуществлять, используя следующее простое выражение

$$\mathfrak{R} = \Omega C, \quad (4)$$

где  $\mathfrak{R}$  – множество рисков;

$\Omega$  – множество частот (или вероятность) появления нежелательных в навигационном плане факторов;

$C$  – множество степеней тяжести (стоимостей) последствий от реализации нежелательных факторов.

Будем считать, что величины рисков из множества (4), сопутствующие реализации судном заданной логической программы, являются физическими величинами и могут рассматриваться как альтернативы. При этом величина риска  $x \in \mathfrak{R}$  определяется конечным набором параметров  $\omega \in \Omega$  и  $c \in C$ , которые изменяются в определенных пределах. В общем случае параметры риска могут быть как независимыми, так и связанными некоторыми зависимостями. Поэтому достаточно общим описанием для множества рисков  $\mathfrak{R}$  (если ограничения и зависимости выражены дифференцируемыми функциями) будет являться дифференцируемое многообразие.

Пусть далее  $M^n$ -многообразие рисков (4), которое обладает размерностью  $n$ , а отображение  $f$  дифференцируемо достаточное число раз

$$f : M^n \rightarrow R^m.$$

Поскольку в основе концепции ФОБ при разрешении проблемных навигационных ситуаций лежит сравнение оценок рисков, то далее будем считать, что в  $R^m$  определено бинарное отношение  $G \subset R^m \times R^m$ . Тогда можно писать, что

$$x \text{ G } y \text{ ( } x \text{ доминирует } y \text{),}$$

если  $(x, y) \in G$  и естественным образом индуцировать отношение доминирования на многообразии  $M^n$

$$a \geq b (a, b \in M^n) \Leftrightarrow f(a) \text{ G } f(b).$$

Пусть для любого  $x \in R^m$  существует  $K_x = \{y \in R^m | (x+y) \text{ G } x\}$ , тогда множество  $x + K_x$  является верхним конусом точки  $x$  для бинарного отношения  $G$ , в котором определено множество рисков, доминирующих  $x$ , а совокупность  $K_x$  для всех  $x \in R^m$  однозначно определяет  $G$ .

В этих терминах отношение  $a \geq b$ , если  $f(a)$  попадает в верхний конус точки  $f(b)$ , может быть определено так

$$a \geq b \Leftrightarrow f(a) \in f(b) + K_{f(b)}.$$

Поэтому любой риск из множества (4)  $a \in M^n$  можно назвать локально недоминируемым (относительно заданного сравнения  $G$ ), если существует такая окрестность  $U(a) \subset M^n$  точки  $a$ , что в ней нет рисков, доминирующих  $a$

$$(b \geq a, b \in U(a)) \Rightarrow f(b) = f(a).$$

Другими словами, риск величиной  $a$  является локально недоминируемой альтернативой, если образ некоторой его окрестности  $U(a)$  не пересекает верхнего конуса точки  $f(a)$ . В противном случае этот же риск будет являться уже локально доминируемой альтернативой или вариантом.

В теории оптимизации по Парето предполагается, что верхний конус каждой точки пространства рисков не зависит от  $x \in R^m$ , если  $K_x = R^m_+$ . Однако при разрешении проблемной навигационной ситуации может сложиться так, что верхний конус не только не представляет собой первый ортант  $R^m_+$ , но даже его структура зависит от заданной точки. Примером может служить тот случай, когда точка  $x$  пространства риска с набором  $x = (\omega_1, c_2)$  доминирует риск  $y = (\omega_2, c_2)$ , который не только превосходит  $x$  по значениям каждой составляющей  $y_i \geq x_i$ , но для которых также выполнены некоторые специальные соотношения, например, такие как  $F_h(x, y) \geq 0$ . Поэтому в подобных случаях разрешения проблемных навигационных ситуаций метод выбора по Парето использовать нельзя.

При разрешении проблемных навигационных ситуаций важно выделить такие ситуации, когда риски не обладают свойством доминирования. Такие навигационные ситуации уже не следует относить к проблемным ситуациям, а скорее характеризовать как безопасные ситуации, в которых не возникает необходимости в управлении опасными факторами. Поэтому, используя результаты работы [1], необходимые и достаточные условия локальной недоминируемости первых двух порядков для геометрических конусов  $K_x \subset R^m$ , обладающих свойствами замкнутости, выпуклости, имеющих хотя бы одну точку, отвечают условиям

$$b \in K_x \text{ при } \lambda > 0 \lambda b \in K_x.$$

Составим условия, при которых навигационные ситуации можно уже классифицировать как безопасные. Для того чтобы риски  $x \in M^n$  были локально недоминируемыми, а навигационная ситуация относилась к классу безопасных навигационных ситуаций необходимо, чтобы выполнялись условия

$$miDf_x \cap K_{f(x)} = \emptyset; \quad miDf_x \cap K_{f(x)} = \{0\}; \quad \ker Df_x = \{0\}, \quad (5)$$

где  $miDf_x$  и  $\ker Df_x$  являются образом и ядром отображения  $Df(x)$  соответственно.

Записанные условия означают, что для недоминируемости рисков в навигационной ситуации необходимо, чтобы линейная аппроксимация  $f$  в  $x$  не пересекала внутреннюю область верхнего конуса точки  $f(x)$ , отображение  $Df_x$  не было вырожденным в  $x$ , а линейная аппроксимация этого отображения пересекала верхний конус лишь по  $f(x)$ .

Таким образом, навигационная ситуация будет обладать свойством безопасности мореплавания лишь при выполнении условий (5), когда в элементе  $\Lambda_2 \subset \Lambda$  из структуры (1) отсутствуют доминируемые факторы, характеризующиеся с помощью значений из множества  $\mathfrak{R}$  и квалифицируемые как доминируемые риски.

1 Гнедин, А.В. Гладкие задачи многокритериальной оптимизации / А.В. Гнедин, Ю.В. Ремизов // Управление в сложных нелинейных системах. -М., 1984. -С. 21-24.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *безопасность, мореплавание, ситуация, доминирование, риски*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Ключко Денис Валерьевич, аспирант ФБОУ ВПО «ГМА им. адм. С.О. Макарова»*  
*Сиротюк Анатолий Андреевич, аспирант ФГБОУ ВПО «МГТУ»*  
*Меньшиков Вячеслав Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «МГТУ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *199106, г. Санкт-Петербург, ул. Косая линия, 15а, ФБОУ ВПО «ГМА*  
*им. адм. С.О. Макарова»*  
*183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13, ФГБОУ ВПО «МГТУ»*

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ МОРСКОГО СУДНА С УЧЕТОМ ДРЕЙФА**

**ФБОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»**

**Д.А. Оськин**

**PARAMETERS IDENTIFICATION OF SEA SHIP MODEL WITH TAKING INTO ACCOUNT DRIFT EFFECT**  
«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»  
D.A. Os'kin

Parameters identification algorithm of the sea ship model represented in vector-matrix form is derived. In contrast with known Nomoto's model, proposed one takes into account a lateral drift of the ship and can be used for control systems synthesis for ships moving along the desired path.

*Keywords: sea ship, identification, vector-matrix model*

Предлагается алгоритм идентификации параметров модели морского судна, представленной в векторно-матричной форме. В отличие от моделей Номото, предлагаемая идентификационная модель описывает движение морского судна с учетом бокового сноса (дрейфа) и может быть использована для синтеза систем управления морскими судами при движении по заданной траектории.

Задача управления движением морского судна (МС) по заданной траектории является одной из актуальных проблем судовождения. Эта задача заключается в удержании судна на линии предварительно заданного маршрута при движении на полном ходу. Также, решение задачи стабилизации судна на траектории обеспечивает выполнение требований Международной морской организации (ИМО) к системам управления движением судов [1, 2].

Задача движения по траектории включает в себя подзадачу, состоящую в компенсации отклонений от постоянного или изменяющегося курса следования. В этом случае можно говорить о стабилизации судна на курсе в условиях действующих внешних возмущений (совокупного ветро-волнового воздействия и морских поверхностных течений). Одним из известных подходов к управлению динамическими объектами в подобных условиях является метод адаптивного управления с использованием модели управляемого объекта. Существует класс авторулевых устройств, построенных по схеме с настраиваемой моделью (НМ). Настройка, выполняемая с целью идентификации объекта управления, состоит в построении математической модели объекта по его входным и выходным сигналам. В случае, когда структура системы задана, задача идентификации сводится к определению ее параметров [3-5].

Модели морских судов

Одной из распространенных моделей описания движения судна на курсе является, так называемая, модель Номото 2-го порядка [1, 5]

$$T_1 T_2 \ddot{\omega}_y + (T_1 + T_2) \dot{\omega}_y + \omega_y = k_c (\delta + T_0 \dot{\delta}), \quad (1)$$

где  $\omega_y$  – скорость рысканья судна;

$\delta$  – угол отклонения пера руля;

$T_0, T_1, T_2, k_c$  – динамические параметры, которые зависят от линейной скорости судна.

Дифференциальное уравнение (1) описывает зависимость изменения скорости рысканья МС  $\omega_y$  от положения пера руля  $\delta$ . Ввиду простоты, эта модель может использоваться только для анализа управления движением судна по заданному курсу и синтеза систем управления движением судна на курсе.

Рассмотрим более точную модель движения судна, с учетом бокового движения. Обычно, движение судна рассматривается как движение в горизонтальной плоскости с постоянной скоростью продольного движения (рисунок 1).

Допущения к частной модели движения судна в горизонтальной плоскости при отсутствии ветро-волновых возмущений сформулированы в [6]. На основании этих допущений линеаризованная математическая модель МС в общей форме может быть представлена в виде матричного дифференциального уравнения

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad (2)$$

где  $A, B$  – матрицы связи, элементы которых могут зависеть от компонентов вектора состояния;

$x$  – вектор собственных координат системы (размерностью  $n \times 1$ );

$u$  – вектор воздействия на систему ( $r \times 1$ ), в данном случае, положение рулевой машины  $\delta$ .

В конкретном случае модель в нормальной форме Коши может иметь вид [6]

$$\begin{cases} \dot{\varphi} = \omega_y; \\ \dot{\omega}_y = a_{22}\omega_y + a_{23}\beta + b_{21}\delta; \\ \dot{\beta} = a_{32}\omega_y + a_{33}\beta + a_0|\beta| + b_{31}\delta, \end{cases} \quad (3)$$

где  $\varphi$  – курс МС;

$\beta$  – угол дрейфа.

$a_{ij}, a_0, b_{ij}$  – коэффициенты модели [6], зависящие от скорости хода судна.

Линеаризованные уравнения (3) могут быть записаны в следующей матричной форме [6]

$$\begin{bmatrix} \dot{\varphi} \\ \dot{\omega}_y \\ \dot{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & a_{22} & a_{23} \\ 0 & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi \\ \omega_y \\ \beta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ b_{21} \\ b_{31} \end{bmatrix} [\delta]. \quad (4)$$

Модели (3), (4) описывают управляемое движение морского судна по курсу с учетом бокового смещения, за счет учета в модели угла дрейфа  $\beta$ . Это достоинство может быть использовано в системах управления движением по заданной траектории, где необходимо учитывать рассогласование между заданным и текущим положениями судна относительно траектории его движения.

**Алгоритм идентификации.** Современная теория идентификации предоставляет множество методов, используемых при выборе математической модели исследуемого объекта, критерия качества идентификации и алгоритмов идентификации. К числу простейших алгоритмов идентификации следует отнести прямые вычислительные алгоритмы, основанные на использовании регрессионного подхода. Математической основой таких алгоритмов часто является метод наименьших квадратов (МНК) [7].

Пусть задана система (2), для которой параметры матриц  $A$  и  $B$  подлежат оценке. Предполагается, что вектор координат состояния  $x(t)$  и управление  $u$  доступны для измерения, также матрицы  $A$  и  $B$  являются постоянными или квазистационарными, то есть скорость изменения элементов матриц  $A, B$  меньше скорости изменения векторов состояния и управления.

Для применения регрессионного анализа систему с непрерывным временем (2) следует представить в дискретной форме

$$X(k+1) = A_d X(k) + B_d u(k), \quad (5)$$

где  $k$  – дискретное время,  $k = 0, 1, \dots$ ;

$A_d, B_d$  – матрицы дискретной системы тех же размеров, что и для исходной непрерывной системы.

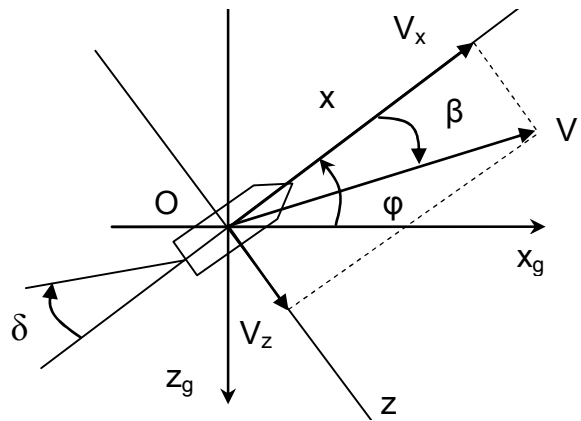


Рисунок 1 – Движение судна в горизонтальной плоскости

Выпишем из (5) промежуточное уравнение для элементов вектора состояния ( $i = 1, 2, \dots, n$ )

$$x_i(k+1) = a_{di1}x_1(k) + \dots + a_{din}x_n(k) + b_{di1}u_1(k) + \dots + b_{dir}u_r(k). \quad (6)$$

Составим вектор  $W_{ik}$  из элементов  $x(k), u(k)$  размерностью  $(n+r) \times 1$ . Этот вектор представляет собой совокупность входных воздействий и выхода системы на момент дискретного времени  $k$

$$W_{ik} = [x_1(k), x_2(k), \dots, x_n(k), u_1(k), u_2(k), \dots, u_r(k)]^T. \quad (7)$$

Объединим полученные вектора  $W_{ik}$  в матрицу  $W_k$ . Размерность матрицы  $W_k$  равна  $gx(n+r)$ ,

где  $g$  – количество измерений, причем [8]

$$g \geq n^2 + rn + 1.$$

Составим матрицу  $\Phi_i$  из искомым коэффициентов уравнения (6)

$$\Phi_i^T = [a_{di1}, \dots, a_{din}, b_{di1}, \dots, b_{dir}] \in R^{1 \times (n+r)}; \quad i = 1, \dots, n. \quad (8)$$

С учетом (7), (8) запишем уравнение (5) в матричном виде

$$x_i(k+1) = W_{ik}^T \Phi_i. \quad (9)$$

Сформируем вектор  $\chi_i$  из элементов правой части уравнения (6) после  $g$  измерений

$$\chi_i = [x_{(1)i}(k+1) \quad x_{(2)i}(k+1) \quad \dots \quad x_{(g)i}(k+1)]^T. \quad (10)$$

Считая, что вектор  $\chi_i$  и матрица  $W_k$  известны, получим выражение для оценки параметров  $a_{dij}, b_{diq}$  ( $i, j = 1, \dots, n, q = 1, \dots, r$ )

$$\chi_i = W_k \hat{\Phi}_i. \quad (11)$$

Необходимо отметить, что полученная система уравнений (11) переопределена, следовательно, искомым результат нужно искать с точки зрения нахождения псевдорешения. Как правило, при достаточной обусловленности матрицы  $W_k^T W_k$  оптимальная оценка параметров дискретной системы, согласно МНК, определяется в виде

$$\hat{\Phi}_i^* = (W_k^T W_k)^{-1} W_k^T \chi_i. \quad (12)$$

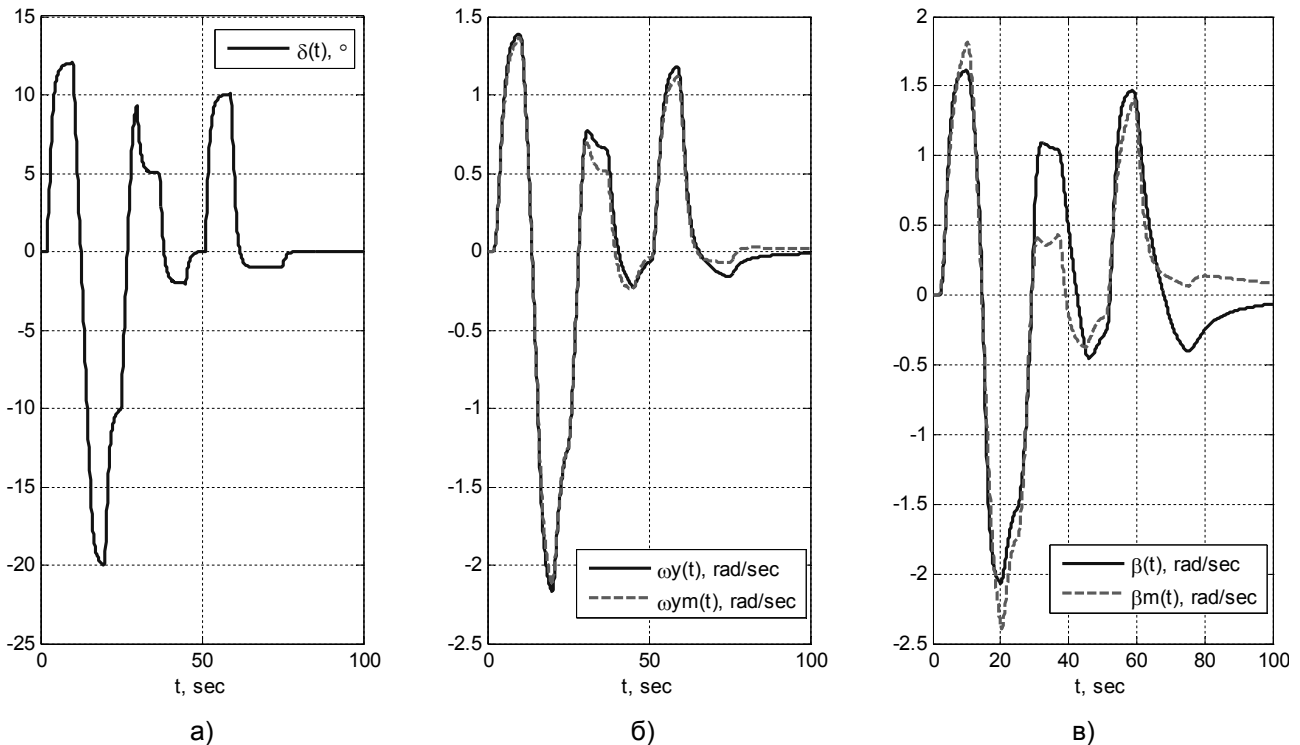


Рисунок 2 – Положение пера руля, угловая скорость рысканья, скорость дрейфа морского судна

В случае, когда матрица  $W_k^T W_k$  вырожденная или плохо обусловленная, при решении нормального уравнения (11) прибегают к псевдообращению, например, используют псевдо-

обратную матрицу Мура-Пенроуза.

По известным матрицам  $A_d$ ,  $B_d$  дискретной системы можно определить матрицы непрерывной системы  $A$ ,  $B$  [9]

$$A = \ln(A_d)/T; B = [A^{-1}(A_d - E)]^{-1} B_d, \quad (13)$$

где  $T$  – период квантования дискретной модели.

**Результаты.** Для моделирования приведенного алгоритма идентификации примем следующие значения коэффициентов нелинейной модели (3):  $a_0 = -0,48032$ ;  $a_{22} = -0,98956$ ;  $a_{23} = 0,18658$ ;  $a_{32} = 0,58$ ;  $a_{33} = -0,12851$ ;  $b_{21} = 0,090321$ ;  $b_{31} = 0,054618$  [6].

Оценку параметров проведем для линейной модели (4). Как видно из рисунка 2б и 2в, полученные по идентифицированной модели зависимости угловой скорости рысканья  $\omega_{ym}(t)$  и скорости дрейфа  $\beta_y(t)$  практически совпадают с исходными зависимостями  $\omega(t)$  и  $\beta(t)$ .

Значения оцененных параметров в модели (4) при идентификации принимают значения:  $a_{22} = -1,1021$ ;  $a_{23} = 0,22704$ ;  $a_{32} = -1,1177$ ;  $a_{33} = 0,20921$ ;  $b_{21} = 0,093602$ ;  $b_{31} = 0,10283$ . Вариация оцененных параметров, вероятно, обусловлена влиянием нелинейной составляющей слагаемого с коэффициентом  $a_0$  в уравнениях (3). Также в рассматриваемой системе уравнений (3) не учитывается влияние внешних возмущений, которые могут внести дополнительные отклонения при оценке параметров.

Можно сделать вывод, что при идентификации в векторно-матричной форме необходимо рассматривать настраиваемую модель как модель с интервальными матрицами, вариации значений которых обусловлены нелинейностями идентифицируемой системы и влиянием внешних случайных возмущений.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- 1 Вагущенко, Л.Л. Системы автоматического управления движением судна / Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал. -2-е изд., перераб. и доп. -Одесса: Латстар, 2002. -310 с.
- 2 Дмитриев, С.П. Задачи навигации и управления при стабилизации судна на траектории / С.П. Дмитриев. -СПб.: Электроприбор, 2004. -160 с.
- 3 Фрадков, А.Л. Адаптивное управление в сложных системах: беспоисковые методы / А. Фрадков. -М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. -296 с.
- 4 Ким, Д.П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: учеб. пособие / Д.П. Ким. -М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. -464 с.
- 5 Pomorski, J. Trajectory tracking control system for ship / J. Pomorski, L. Morawski, A. Rak // IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems – CAMS'07, Croatia, Sept., 2007. -P. 251-255.
- 6 Лукомский, Ю.А. Навигация и управление движением судов: учебник / Ю.А. Лукомский, В.Г. Пешехонов, Д.А. Скороходов. -СПб.: Элмор, 2002. -360 с.
- 7 Дейч, А.М. Методы идентификации динамических объектов / А.М. Дейч. -М.: Энергия, 1979. -240 с.
- 8 Асатурян, В.И. Теория планирования эксперимента / В.И. Асатурян. -М.: Радио и связь, 1983. -248 с.
- 9 Ким, Д.П. Теория автоматического управления. Т.1. Линейные системы / Д.П. Ким. -М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. -288 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** морское судно, идентификация, векторно-матричная модель  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Оськин Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»



## ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА НА ВПУСКЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСШИРИТЕЛЬНЫХ МАШИН ТЕПЛОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК С РАЗДЕЛЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ СЖАТИЯ И РАСШИРЕНИЯ

ОАО «15 центральный авторемонтный завод»

В.С. Кукис, В.А. Романов, И.А. Харенко

EFFECT OF AIR PRESSURE AT THE INLET ON THE CHARACTERISTICS OF HEAT POWER PLANT EXPANSION ENGINE WITH SEPARATE COMPRESSION AND EXPANSION PROCESSES

«Central motorcar repair plant No.15»

V.S. Kukis, V.A. Romanov, I.A. Kharenko

The paper presents the results of mathematical experiments on the effect of air pressure at the inlet to the expansion characteristics of the machines heat power plants with separate compression and expansion processes.

Keywords: compressed air, an extension process, worker process, the pressure

Приведены результаты математического эксперимента по влиянию давления воздуха на впуске на характеристики расширительных машин теплосиловых установок с разделенными процессами сжатия и расширения.

Влияние давления на впуске на характеристики расширительных машин теплосиловых установок с разделенными процессами сжатия [1] и расширения определялось в ходе вычислительный эксперимента с использованием разработанной ранее математической модели [2] по программе AVL BOOST Version 4.0.3.

В качестве прототипа поршневой расширительной машины был выбран двигатель 2Ч 7,8/8,2 ОАО «ЧТЗ УРАЛТРАК». Исходными для расчета данными служили: частота вращения коленчатого вала расширительной машины – 3000 мин<sup>-1</sup>; угол, соответствующий началу открытия впускного клапана – 10° ПКВ до ВМТ; угол, соответствующий началу открытия выпускного клапана – 180° ПКВ после ВМТ; продолжительность открытия впускного клапана 60° ПКВ; продолжительность открытия выпускного клапана 180° ПКВ; продолжительность сгорания топлива 80° ПКВ.

Рисунок 1 иллюстрирует влияние величины давления воздуха на впуске в цилиндр расширительной машины на основные характеристики ее рабочего цикла, а на рисунке 2 показаны индикаторные диаграммы.

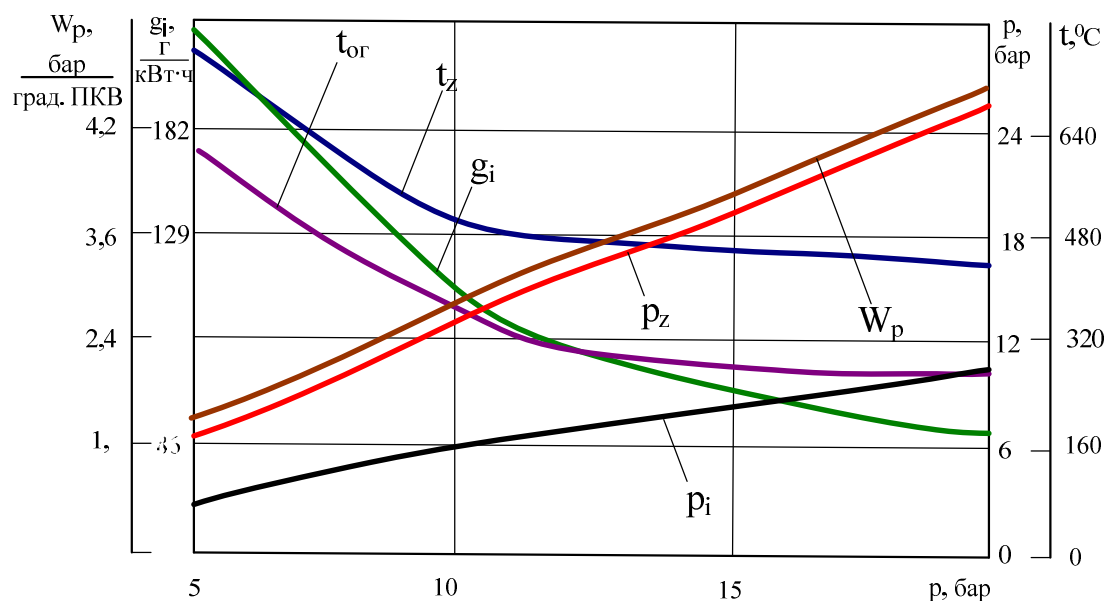


Рисунок 1 – Влияние величины давления воздуха на впуске в цилиндр расширительной машины на характеристики ее рабочего цикла:  $p_i$  -среднее индикаторное давление;  $g_i$  -удельный индикаторный расход топлива;  $p_z$  -максимальное давление рабочего тела;  $w_p$  -максимальная скорость нарастания давления;  $t_z$  -максимальная температура рабочего тела;  $t_{gr}$  -средняя температура отработавших газов

Из рисунка 1 видно, что с увеличением давления растет среднее индикаторное давление и улучшается индикаторный расход топлива. Последний заметно снижается при увеличении давления воздуха на впуске с 5 до 10 бар, затем существенно медленнее с 10 до 15 бар, и незначительно в диапазоне давлений 15-20 бар. Положительным фактором, с точки зрения протекания рабочего процесса, является снижение максимальной температуры в цилиндре, что уменьшает термическую нагруженность деталей, образующих внутрицилиндровое пространство.

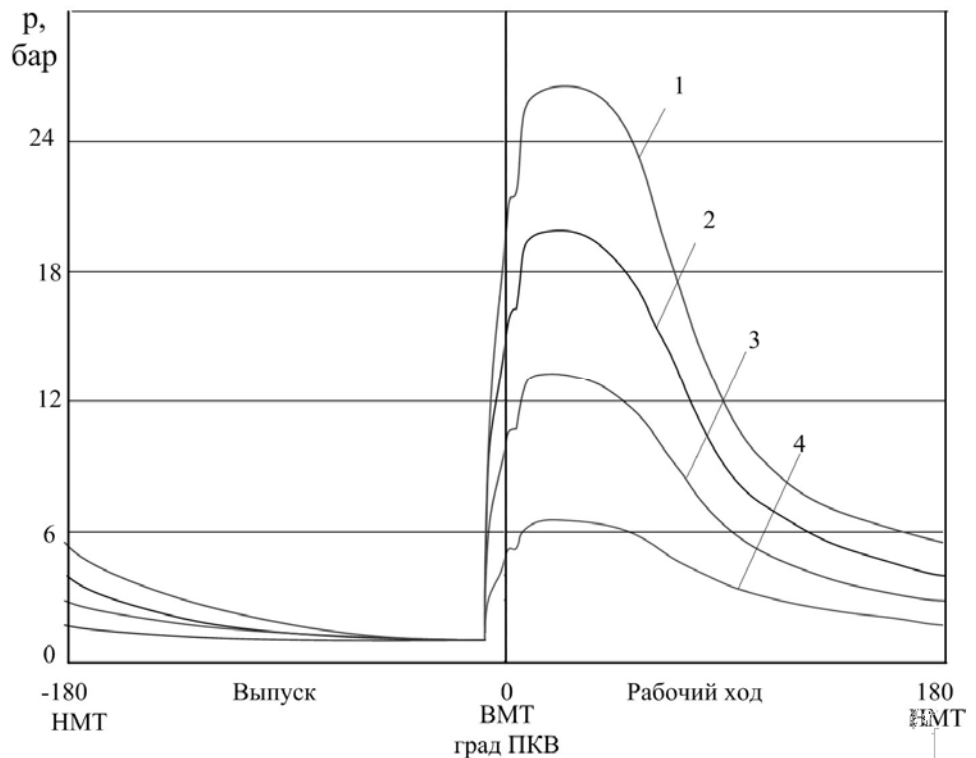


Рисунок 2 – Индикаторные диаграммы при различных значениях давления воздуха на впуске в цилиндр расширительной машины: 1-20 бар; 2-15 бар; 3-10 бар; 4-5 бар

Увеличение среднего индикаторного давления совершенно логично, так как это обусловлено ростом давления воздуха на впуске в цилиндр. Снижение удельного эффективного расхода топлива вызвано более полным сгоранием, связанным, с одной стороны, с присутствием в цилиндре большего количества окислителя (кислорода воздуха), с другой – более интенсивным движением заряда (а, значит, и его более интенсивным перемешиванием). Снижение максимальной температуры в цилиндре связано с увеличением количества холодного воздуха, поступающего в цилиндр, происходящим при росте давления воздуха на впуске,

Отмеченные положительные изменения рабочего процесса сопровождаются практически линейным ростом максимального давления цикла и максимальной скорости нарастания давления, что негативно сказывается на механической нагруженности ее деталей и узлов. Еще одним негативным фактом, связанным с повышением давления воздуха на впуске является падение температуры отработавших газов на выпуске из расширительной машины. Дело в том, что теплота отработавших газов используется для привода в действие утилизационного двигателя Стирлинга С, приводящего компрессор, который обеспечивает сжатым воздухом расширительную машину [1]. Наиболее заметно температура отработавших газов снижается при уменьшении давления на впуске с 5 до 10 бар, затем интенсивность этого снижения падает.

Приведенные материалы свидетельствуют о том, что с повышением давления воздуха на впуске происходят как благоприятные, так и негативные изменения в характере рабочего процесса в расширительной машине.

Задачу определения целесообразного уровня повышением давления воздуха с точки зрения компромисса между улучшением мощностных и экономических параметров, снижением тепловой нагруженности (составляющие положительные изменения) и ростом механической нагруженности, сопровождающейся снижением температуры отработавших газов (негативные изменения), можно решить, используя следующую методику.

Для каждого показателя проводили расчет степени его положительного изменения ( $C_{пу}^i$ ) в процентах от наихудшего значения

$$C_{пу}^i = \frac{|A_j^i - A_0^i|}{A_0^i} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $A_j^i$  – текущее значение  $i$ -го показателя;

$A_0^i$  – наихудшее значение  $i$ -го показателя.

Затем с помощью метода экспертных оценок определяли значимость (коэффициент весомости « $m_i$ ») каждого показателя. Для обеспечения обоснованности и объективности принятия выводов были выбраны 28 экспертов (чтобы обеспечить вероятность принятия правильного решения, равную 0,90-0,95). В состав экспертной группы входило двенадцать докторов и шеснадцать кандидатов технических наук» моторостроительных заводов, НИИ и ВУЗов Челябинска, Барнаула и Новосибирска. Был произведен опрос экспертов с целью выяснения их мнения о важности каждого из приведенных выше показателей, выраженной количественно в баллах как коэффициент значимости  $\varphi_i$  (от 0,1 до 1,0). По значению  $m_i$  можно судить о том, насколько весом данный  $i$ -ый показатель при интегральной оценке двигателя. Согласованность мнений экспертов определяется коэффициентом вариации. Чем меньше коэффициент вариации, тем больше согласованность экспертов.

После определения численных значений коэффициентов весомости для каждого  $i$ -го параметра находили индивидуальный коэффициент его положительного изменения ( $K_{nu}^i$ ) по формуле

$$K_{nu}^i = C_{nu}^i \cdot m_i . \quad (2)$$

Затем сложением коэффициентов положительного изменения всех показателей при данной температуре наддувочного воздуха получали интегральное значение коэффициента положительного изменения показателей для  $f$ -ой температуры

$$\sum K_{nu}^f = \sum K_{nu}^i = K_{nu}^{p_{if}} + K_{nu}^{g_{if}} + K_{nu}^{p_{zf}} + K_{nu}^{t_{zf}} + K_{nu}^{t_{oef}} + K_{nu}^{w_{pf}} . \quad (3)$$

Экстремум кривой, построенной в координатах «интегральный коэффициент положительного изменения показателей для  $f$ -ой температуры – давление воздуха на впуске в цилиндр», соответствовал целесообразному значению давления воздуха на впуске в цилиндр с точки зрения «компромисса» между рассматриваемыми показателями рабочего цикла расширительной машины.

Обработка результатов позволила рассчитать значения степеней положительного изменения ( $C_{nu}^i$ ), индивидуальных коэффициентов положительного изменения выбранных показателей и интегральных коэффициентов ( $\sum K_{nu}^f$ ) в зависимости от давления воздуха на впуске в цилиндр.

*Таблица – Характеристики положительного изменения показателей рабочего цикла расширительной машины при различных давлениях воздуха на входе в цилиндр*

Показатель рабочего цикла	Коэффициент весомости	Коэффициент вариации, %	Коэффициент положительного изменения	Давление, бар			
				5	10	15	20
Среднее индикаторное давление	0,24	2,1	$C_{nu}^{p_i}$	0,00	1,28	2,21	2,51
			$K_{nu}^{p_{if}}$	0,00	0,31	0,53	0,60
Удельный индикаторный расход топлива	0,20	1,8	$C_{nu}^{g_i}$	0,00	0,52	0,70	0,78
			$K_{nu}^{g_{if}}$	0,00	0,10	0,14	0,15
Максимальное давление рабочего тела	0,14	3,9	$C_{nu}^{p_z}$	0,75	0,56	0,29	0,00
			$K_{nu}^{p_{zf}}$	0,11	0,08	0,04	0,00
Максимальная температура рабочего тела	0,13	4,4	$C_{nu}^{t_z}$	0,00	0,29	0,31	0,32
			$K_{nu}^{t_{zf}}$	0,00	0,04	0,4	0,04
Средняя температура отработавших газов	2,4	2,9	$C_{nu}^{t_{oef}}$	2,57	1,05	0,15	0,00
			$K_{nu}^{t_{oef}}$	0,61	0,25	0,04	0,00
Максимальная скорость нарастания давления	0,15	3,3	$C_{nu}^{w_p}$	0,70	0,52	0,13	0,00
			$K_{nu}^{w_{pf}}$	0,11	0,08	0,02	0,00
			$\sum K_{nu}^f$	0,83	0,85	0,81	0,79

В ходе этого расчета, прежде всего, по приведенной выше методике, были определены

значения коэффициентов весомости « $m_i$ » для: среднего индикаторного давления, удельного индикаторного расхода топлива, максимального давления рабочего тела в цилиндре расширительной машины, максимальной «жесткости», максимальной температуры рабочего тела в цилиндре и температуры отработавших газов.

Затем были рассчитаны степени положительного изменения каждого показателя ( $C_{пу}^i$ ), индивидуальный коэффициент его положительного изменения ( $K_{пу}$ ) и значения коэффициента положительного изменения показателей для  $f$ -ой температуры ( $\sum K_{пу}^f$ ).

Все результаты приведены в таблице.

На основании материалов таблицы была построена зависимость интегральных коэффициентов положительного изменения показателей ( $\sum K_{пу}^f$ ) от давления воздуха на впуске в цилиндр, рисунок 3.

Как видно, величина интегрального коэффициента имеет очевидный экстремум при давлении на впуске 10 бар. Именно это значение давления воздуха на впуске было принято, как обеспечивающее компромисс между значениями рассмотренных параметров рабочего цикла расширительной машины.

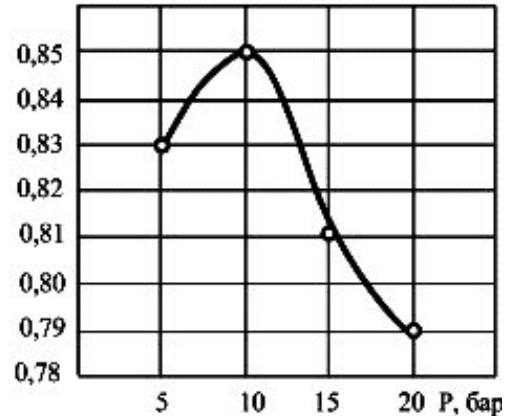


Рисунок 3 – Изменение интегрального коэффициента положительного изменения показателей рабочего процесса в зависимости от давления воздуха на впуске в цилиндр расширительной машины

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Пат. 52938 Российская Федерация, F02B 5/02. Силовая установка с разделенными процессами сжатия и расширения / В.С. Кукис, Ю.Л. Попов, В.П. Босяков. -Опубл. 27.04.06, Бюл. №12.

2 Босяков, В.П. Математическая модель рабочего процесса расширительной машины / В.П. Босяков, И.И. Харенко, В.В. Руднев // Автомобил. техника: науч. вестн. ЧВВАКИУ. -Челябинск, 2009. -Вып. 20. -С. 8-14.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

сжатый воздух, процесс расширения, рабочий процесс, давление

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Кукис Владимир Самойлович, докт. техн. наук, профессор, научный консультант ОАО «15 центральный авторемонтный завод»

Романов Виктор Анатольевич, канд. техн. наук, директор ОАО «15 центральный авторемонтный завод»

Харенко Игорь Алексеевич, начальник отдела ОАО «15 центральный авторемонтный завод»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

630056, г. Новосибирск, ул. Варшавская, 1, ОАО «15 центральный авторемонтный завод»

## АНАЛИЗ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВАЛОВОЙ ЛИНИИ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.В. Викулов

ANALYSIS OF THE AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTICS ORSIONAL VIBRATIONS OF THE GROSS LINE MARINE DIESEL

«Novosibirsk state academy of water transport»

S.V. Vikulov

The basic mathematical principles underlying the measurement of the complex, and theoretical approaches to the analysis of the spectrograms obtained by the torsional oscillations.

Keywords: marine diesel, torsional oscillations, Fourier analysis, spectrogram, the technical condition

Изложены основные математические принципы, положенные в основу работы измерительного комплекса, и теоретические подходы к анализу получаемой спектрограммы крутильных колебаний.

Новые подходы к методикам проведения измерений основываются на современных информационных технологиях, в которых используются широкие возможности компьютерной техники. Для диагностики основных элементов валовой группы судовых дизелей по параметрам крутильных колебаний в нашей работе использовался автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс БАГС-4, разработанный в лаборатории «Динамика и

прочность судовых конструкций» кафедры «Сопротивление материалов» ФБОУ ВПО НГАВТ [1-4]. В настоящей статье изложены основные математические принципы, положенные в основу работы комплекса, и теоретические подходы к анализу получаемой спектрограммы крутильных колебаний.

Как известно, колебательные процессы могут быть периодическими и непериодическими. Так как элементы валовой линии СЭУ обладают характерным признаком периодических колебаний – повторением значений колеблющейся величины через равный промежуток времени, называемый периодом, то крутильно-колеблющая система СЭУ генерирует периодические колебания. Простейшим видом периодических колебаний являются гармонические колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется по закону

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi). \quad (1)$$

Спектр гармонического колебания содержит только одну наблюдаемую частоту. Полигармонический крутильно-колебательный процесс может быть представлен в виде суммы нескольких гармонических колебаний с частотами, находящимися между собой в рациональном отношении

$$x(t) = \sum_{i=1}^k A_i \cos(\omega_i t + \varphi_i). \quad (2)$$

При описании колебательного процесса как функции, изменяющейся во времени, большее значение имеет скорость этого изменения, то есть частота процесса. Частота во многих случаях является более информативной независимой переменной, чем время. Преобразование исходной записи процесса из временной формы (рисунок 1) в частотную форму осуществляется простой перегруппировкой данных. Для такой перегруппировки используется либо разложение исходного колебательного процесса по различным ортогональным системам функций [5], либо его интегральное преобразование Фурье [6].

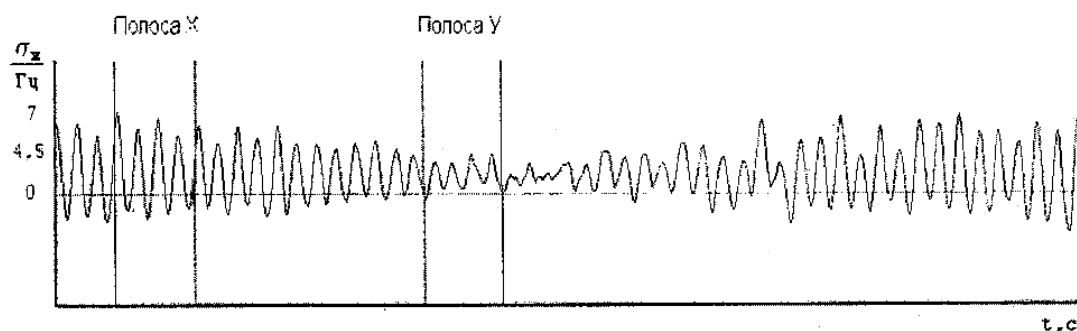


Рисунок 1 – Запись крутильных колебаний во временной форме

В первом случае наибольшее распространение получила ортогональная система основных тригонометрических функций – синусов и косинусов, то есть ряд Фурье. Это объясняется тем, что моногармонические колебания – единственная функция времени, сохраняющая свою форму при прохождении колебания через любую линейную систему с постоянными параметрами. Изменяется лишь амплитуда и фаза колебания. Разложение детерминированного сигнала по синусам и косинусам позволяет использовать традиционные методы [7], подробно разработанные для анализа воздействия гармонических колебаний на линейные системы. В случае приближённого разложения колебаний применяются разнообразные ортогональные системы функций: полиномы Чебышева, Эрмита, Логгера, Лежандра и другие.

Второй способ представления процессов связан с использованием интегральных преобразований. Линейное интегральное преобразование процесса (2) в общем виде определяется следующим образом [7]

$$x(\chi) = \int_a^b r(t, \chi) x(t) dt. \quad (3)$$

Интегральное преобразование переводит непрерывную функцию  $x(t)$  в непрерывную функцию  $x(\chi)$ . Свойства интегрального преобразования определяется ядром  $r(t, \chi)$ . Интегральные преобразования часто применяют тогда, когда функция  $x(\chi)$  по виду более простая, чем  $x(t)$ . Они используются для записи зависимости выходного процесса от входного,

при нахождении огибающих узкополосных сигналов и при определении распределения энергии сигналов по частотам.

При разложении в ряд Фурье часть записи колебательного процесса, выбранного для анализа, принимается за период или за целое число таких периодов, а вся запись предполагается состоящей из повторений этого отрезка в обе стороны от анализируемого интервала. Результирующий спектр – дискретный и соответствует членам разложения в ряд Фурье с частотами, определяемыми через выбранную длительность основного периода. Каждая линия дискретного спектра представляет собой отдельную гармоническую компоненту.

Интегральное преобразование Фурье [6] предполагает, что процесс имеет нулевые значения вне исследуемого интервала. Результирующий спектр – непрерывный, его форма соответствует огибающей линии разложения в ряд Фурье. Интенсивный пик непрерывного спектра может быть обусловлен группой компонент с близкими частотами.

Хотя оба способа не являются строго корректными, но в обоих случаях эти предположения приводят к тем большим погрешностям, чем меньше анализируемый отрезок колебательного процесса.

Для анализа крутильно-колебательного процесса валопровода СЭУ предпочтительнее использовать интегральное преобразование Фурье. Это связано с несколькими причинами:

- затруднительное определение сложного колебания на выходе системы по сумме гармоник с заданными амплитудами и фазами, если не обеспечивается быстрая сходимость ряда Фурье, представляющего колебание;

- для разложения в ряд необходимо иметь данные об основном периоде процесса, в то время как спектральный анализ на основе интегрального преобразования не нуждается в подобных предварительных оценках;

- оба подхода при спектральном анализе случайных колебаний дают случайный, то есть неустойчивый спектр, когда нельзя пренебречь его статистической изменчивостью. В этом случае спектральный анализ на основе интегрального преобразования открывает пути получения спектральной плотности исследуемого крутильно-колеблющегося процесса как статистически достоверной оценки его спектра. Применение интегрального преобразования Фурье для детерминированного периодического крутильно-колеблющегося процесса позволяет получать характерный спектр с чередованием пиков и глубоких провалов и таким образом сделать правильный вывод о дискретном характере спектра.

Спектр многомерного сигнала представляет собой набор гармоник, кратных основной частоте

$$\begin{aligned} &\omega_1, 2\omega_1, 3\omega_1, \dots, i\omega_1; \\ &\omega_2, 2\omega_2, 3\omega_2, \dots, i\omega_2; \\ &\omega_3, 2\omega_3, 3\omega_3, \dots, i\omega_3; \\ &\dots \\ &\omega_n, 2\omega_n, 3\omega_n, \dots, i\omega_n. \end{aligned}$$

На рисунке 2а представлен дискретный спектр, а на рисунке 2б показана огибающая кривая непрерывного спектра. Пики 1, 2, 3, 4, 5 – резонансы, соответствующие собственным частотам дискретных крутильно-колеблющихся систем СЭУ.

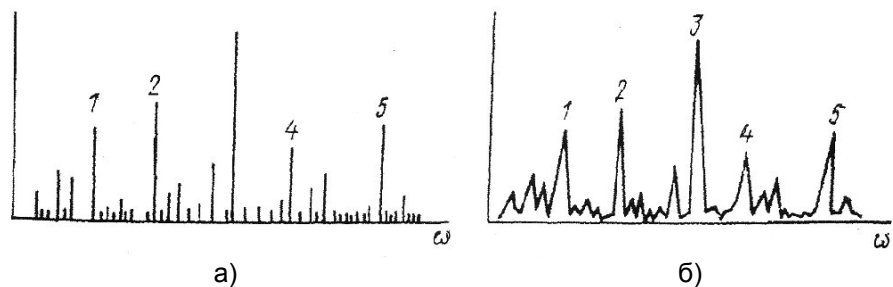


Рисунок 2 – Частотный спектр для многочастотного многомерного сигнала: а)-дискретный спектр; б)-огибающая кривая непрерывного спектра

Реальная спектрограмма (рисунок 3), получаемая с эксплуатируемых судовых дизелей, строится методом интегрального преобразования Фурье программным обеспечением «Analyzer» комплекса БАГС-4. Масштабы записи колебаний для конкретной дизельной СЭУ определяются программным методом при тарировке датчика на лабораторном стенде [4].

Амплитудно-частотный анализ массива спектрограмм, снятых с дизелей, имеющих различные наработку и техническое состояние, позволил нам осуществить моделирование

алгоритмов диагностирования основных элементов валовой линии и разработать практические рекомендации по их использованию в процессе эксплуатации [2, 3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Глушков, С.П. Автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс для регистрации крутильных колебаний энергетических установок БАГС-4 / С.П. Глушков, А.М. Барановский, С.С. Глушков // Сиб. науч. вестн. -2006. -Вып. 9. -С. 109-112.

2 Викулов, С.В. Прогнозирование остаточного ресурса коленчатого вала судового дизеля методом исследования крутильных колебаний / С.В. Викулов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№1. -С. 131-133.

3 Викулов, С.В. Торсиографическая оценка технического состояния силиконового демпфера валопровода СЭУ / С.В. Викулов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№1. -С. 140-141.

4 Викулов, С.В. Стендовые испытания автоматизированного вычислительно-измерительного комплекса БАГС-4 / С.В. Викулов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№2. -С. 187-191.

5 Добрынин, С.А. Методы автоматизированного исследования вибрации машин: справочник / С.А. Добрынин, М.С. Фельдман, Г.И. Фирсов. -М.: Машиностроение, 1987. -224 с.

6 Задирака, В.К. Теория вычисления преобразования Фурье / В.К. Задирака. -Киев: Наукова думка, 1983. -216 с.

7 Бидерман, В.Л. Теория механических колебаний / В.Л. Бидерман. -М.: Высш. шк., 1980. -408 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *судовой дизель, крутильные колебания, анализ Фурье, спектрограмма, техническое состояние*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Викулов Станислав Викторович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

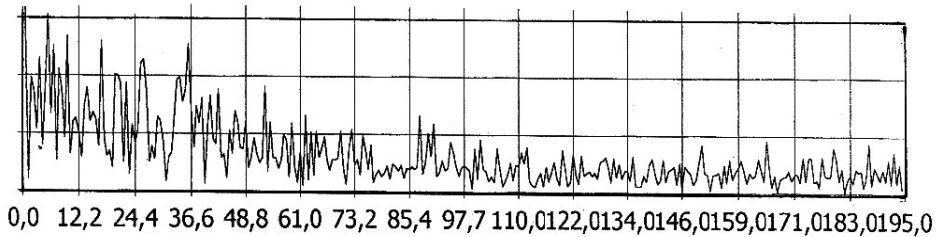


Рисунок 3 – Спектрограмма крутильных колебаний вала при частоте вращения 600 об/мин дизеля 6NVD26A-3 теплохода «РТ-724»

## ОЦЕНКА И АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛИКОНОВОГО ДЕМПФЕРА КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**С.В. Викулов**

### ASSESSMENT AND ANALYSIS OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE SILICONE DAMPING OF TORSIONAL VIBRATIONS OF SHIP DIESEL ENGINES

«Novosibirsk state academy of water transport»

S.V. Vikulov

Based on the analysis of experimental data obtained suggests possible criteria for assessing the condition of the silicone damper diesel EMS in the field.

*Keywords: marine diesel, shaft line, silicone damper, torsional oscillations, the technical condition of the spectrogram*

На основе анализа полученного экспериментального материала предлагаются возможные критерии для оценки состояния силиконового демпфера дизельной СЭУ в условиях эксплуатации.

Для уменьшения уровня колебаний судовых валопроводов от возмущающих моментов на резонансных режимах работы значительная часть дизельных установок оборудована гасителями колебаний различных типов. По способу воздействия на колеблющуюся систему средства уменьшения крутильных колебаний принято делить на два вида: демпферы (или виброгасители) – средства с частичным поглощением колебательной энергии и последующим рассеиванием её в окружающую среду; антивибраторы – средства без поглощения колебательной энергии, уменьшающие колебания за счёт динамического воздействия на валопровод [1, 2]. Для достижения наибольшей эффективности гаситель колебаний устанавливается в месте развития максимальных амплитуд крутильных колебаний, обычно на носовом конце коленчатого вала.

В настоящее время широкое распространение получил силиконовый демпфер крутильных колебаний, который благодаря высокой эффективности, простоте изготовления и эксплуатации почти вытеснил все другие виды демпферов и в значительной степени – антивибраторов. Силиконовый демпфер состоит из корпуса-ступицы, который жёстко или упруго крепится к валу дизеля и инерционной массы (маховика), размещаемого внутри корпуса с



зазором менее 1 мм, заполненной силиконовой жидкостью. Энергия в демпфере поглощается трением, возникающим при относительном движении маховика в вязкой среде [1, 2].

Работа дизельной СЭУ с неисправным демпфером более опасна, чем без него, так как может вызвать усталостную поломку коленчатого вала дизеля и стать причиной аварии судна (рисунок 1).

В работах [3, 4] нами рассмотрено решение вопроса прогнозирования ресурса коленчатого вала дизеля по параметрам крутильных при помощи автоматизированного измерительно-вычислительного комплекса БАГС-4 [5]. Объектами исследования являлись валопроводы эксплуатируемых дизелей 6NVD26A-3 судов проекта 1741А Омского и Новосибирского речных портов. Разработанный алгоритм прогнозирования основан на экспериментальном массиве данных исправного состояния всех элементов СЭУ теплохода.

Наряду с этими исследованиями нами был собран экспериментальный материал с эксплуатируемых дизелей, у которых была нарушена нормальная работа силиконового демпфера. Назовем такое состояние демпфера дефектным [6]. В настоящей работе на основе анализа полученного экспериментального материала проведено обоснование количественных критериев для оценки технического состояния демпфера судового дизеля в условиях эксплуатации.

На исследуемых дизелях 6NVD26A-3, установлены герметичные силиконовые демпферы фирмы SKL (Германия). Следовательно, анализ физико-химических показателей силиконовой жидкости в процессе эксплуатации дизеля невозможен. Система непрерывного контроля технического состояния демпфера отсутствует. При отсутствии на судах систем непрерывного контроля состояния демпфера рекомендуется использовать переносные средства диагностирования и штатные контрольно-измерительные приборы, создавая такие условия работы валопровода, при которых исключались бы возможности возникновения предельных напряжений. Периодический контроль над работой демпферов целесообразно начинать после истечения 30% гарантированного срока их эксплуатации [2].

Номера контролируемых теплоходов в течение двух навигаций 2007-2008 годов, вид дизеля и его техническое состояние приведены в таблице 1. При этом дизели с работоспособными демпферами отнесены к ис-

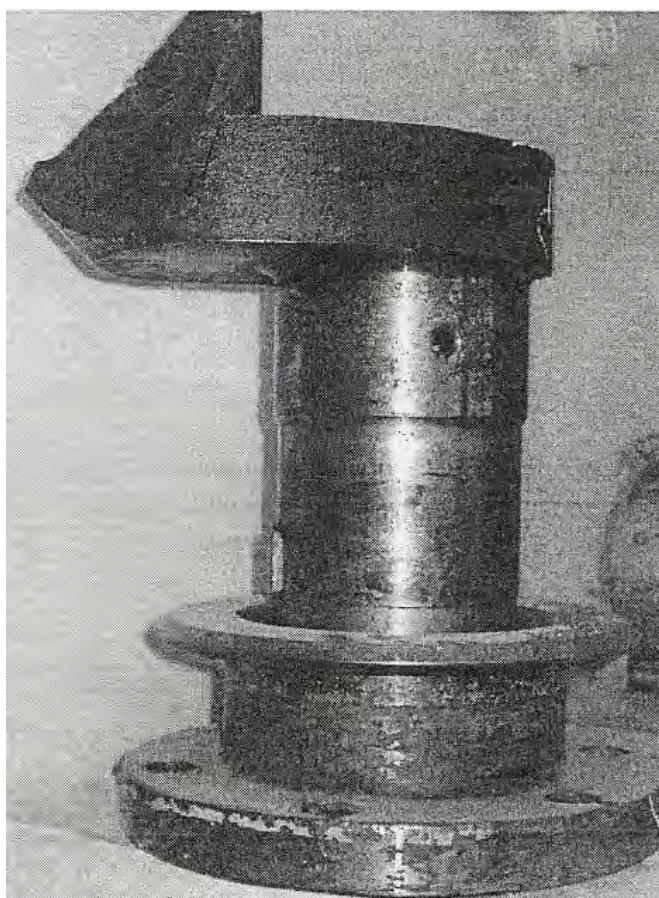


Рисунок 1 – Поломка коленчатого вала главного дизеля 6NVD26-A3 теплохода «РТ-611» Новосибирского речного порта

Таблица 1 – Исследуемые дизели

Теплоход	Борт	Состояние дизеля	Средняя амплитуда $\bar{A}$ спектрограммы
РТ-638	правый	$D_1$	1,81
РТ-673	левый	$D_1$	0,41
РТ-685	левый	$D_1$	2,12
РТ-689	левый	$D_1$	1,45
РТ-726	правый	$D_1$	2,66
РТ-787	правый	$D_1$	1,93
РТ-791	правый	$D_1$	1,61
РТ-634	левый	$D_2$	4,94
РТ-638	левый	$D_2$	5,34
РТ-673	правый	$D_2$	5,18
РТ-674	правый	$D_2$	4,30
РТ-724	левый	$D_2$	4,79
РТ-740	правый	$D_2$	4,81
РТ-786	левый	$D_2$	4,81



правному  $D_1$  техническому состоянию, а дизели, у которых была нарушена нормальная работа демпфера (заклинивание инерционной массы в корпусе, повышенная температура и отсутствие демпфера в валовой линии), были отнесены к дефектному состоянию  $D_2$ .

Измерение крутильных колебаний проводилось при помощи автоматизированного измерительно-вычислительного комплекса БАГС-4 в соответствии с п.3 руководства [7] и программой по торсиографированию валопроводов, согласованной с Западно-Сибирской инспекцией РРР [8]. Датчик устанавливался на свободном конце коленчатого вала со стороны демпфера. Определение максимального развития вынужденных колебаний производилось автоматически и синхронно датчиком ТНК-1 при работе дизеля с заданным числом оборотов. Сигналы датчика выровнены и обработаны. Таким образом, полезный сигнал определялся только крутильными колебаниями, которые зависят от неравномерности вращения и скручивания в данном участке вала.

За пределами машинного отделения запись измеренных колебаний от флеш-карты через надежный порт типа УСБ скачивалась в аналого-цифровой преобразователь спектра ПФ-1 и обрабатывались им методом интегрального преобразования Фурье. Получаемая спектрограмма показывает, какие гармоники содержатся в данном сложном колебании, и какую амплитуду имеет каждая из этих гармоник. Масштабы записи определяются программным методом при тарировке на стенде. Масштаб записи амплитуды для исследуемых дизелей составил  $4 \cdot 10^{-3}$  рад./дел. В дальнейшем одно деление спектрограммы для краткости будем называть единицей.

Сравнительный анализ массива полученных спектрограмм, как при одинаковой частоте, так и при разной частоте вращения коленчатого вала для различных состояний дизелей показал, что их спектральные плотности амплитудно-частотных характеристик существенно отличаются друг от друга. Рисунок 2 для исправного состояния  $D_1$  и рисунок 3 для дефектного  $D_2$  состояния иллюстрируют сказанное. Здесь на оси абсцисс отложены частоты  $\nu$ , а на оси ординат – относительные амплитуды  $A$  крутильных колебаний.

Массив экспериментальных данных параметров амплитудно-частотных характеристик спектрограмм, полученных при одинаковой частоте коленчатого вала, равной 600 об/мин, был подвергнут статистической обработке. Для каждого интервала частот шириной в 12,2 Гц (всего 16 интервалов в диапазоне от 0 до 195 Гц) в относительных единицах масштаба амплитуд спектрограммы (рисунки 2 и 3) измерялась величина максимальной амплитуды. Затем рассчитывались средние амплитуды  $\bar{A}$  всех интервалов частот спектрограммы каждого дизеля. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

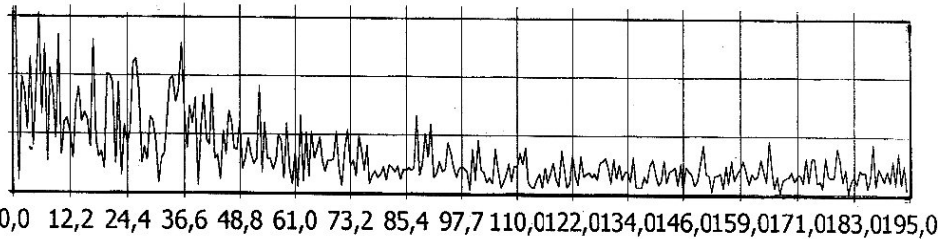


Рисунок 2 – Спектрограмма крутильных колебаний вала при частоте вращения 600 об/мин правого дизеля теплохода «РТ-724» состояния  $D_1$

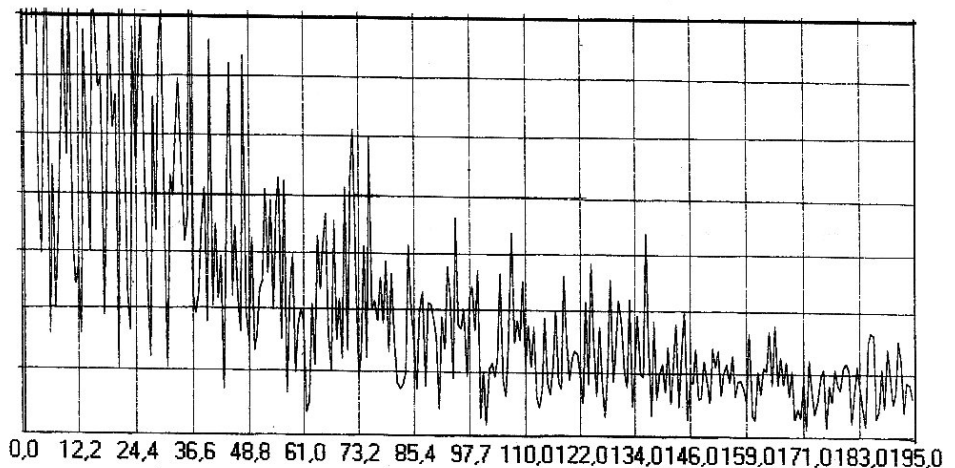


Рисунок 3 – Спектрограмма крутильных колебаний вала при частоте вращения 600 об/мин левого дизеля теплохода «РТ-638» состояния  $D_2$

Статистическая обработка данных таблицы 1, результаты которой приведены в таблице 2, показала, что различие статистических характеристик не является случайным. Сравнение характеристик исправного  $D_1$  и дефектного  $D_2$  состояний дизеля произведено по двум известным критериям: Фишера и Стьюдента. Как критерий Фишера  $F$ , так и критерий Стьюдента  $t$  превышают граничные значения  $F_{ep}$  и  $t_{ep}$  (таблица 2). Так, например, по критерию  $t$  можно почти с вероятностью 100% утверждать, что расхождения между сравниваемыми выборками весьма значимые, и они относятся к разным совокупностям.

Из анализа результатов таблицы 2 следует, что среднее значение амплитуды по массиву данных дефектного состояния  $D_2$  в 2,85 раз превышает такой уровень амплитуд колебаний валопровода исправного  $D_1$  состояния демпфера. На основании изложенного в качестве диагностического параметра состояния демпфера нами была принята величина средней амплитуды  $\bar{A}$  спектрограммы крутильных колебаний.

*Таблица 2 – Сравнение статистических характеристик средних амплитуд  $\bar{A}$  спектрограмм крутильных колебаний*

Состояние дизеля	Среднее значение $\bar{A}$	Дисперсия, $\sigma^2$	Критерий Фишера $F$	Критерий Стьюдента $t$	$F_{ep}$ при $P = 0,95$	$t_{ep}$ при $P = 0,95$
$D_1$	1,71	0,483	4,39	10,89	4,28	4,22
$D_2$	4,88	0,110				

Более того, детальный анализ спектрограмм показал, что у всех валопроводов с дефектным состоянием демпфера амплитуды крутильных колебаний в установленном диапазоне от 0 до 200 Гц на собственной частоте 54,031 Гц одноузловой формы колебаний и собственной частоте 71,490 Гц двухузловой формы колебаний в три и более раз превышают величины амплитуд на тех же частотах в валопроводах с исправными демпферами [6].

Исходя из гипотезы нормального распределения величин средних амплитуд  $\bar{A}$  спектрограмм, установим допустимый и предельный нормативы для оценки состояния демпфера при уровне надёжности  $P = 0,95$  и критерии Стьюдента  $t_p = 2,48$

$$\bar{A}_{\text{дон}} = \bar{A}(D_1) + t_p \sigma(D_1) = 1,71 + 2,48 \cdot 0,695 = 3,43 \text{ единицы, или } 1,37 \cdot 10^{-2} \text{ рад.};$$

$$\bar{A}_{\text{пред}} = \bar{A}(D_2) - t_p \sigma(D_2) = 4,88 - 2,48 \cdot 0,332 = 4,10 \text{ единиц, или } 1,64 \cdot 10^{-2} \text{ рад.},$$

где  $\bar{A}(D_1)$ ,  $\bar{A}(D_2)$  – соответственно средние значения амплитуд исправного  $D_1$  и дефектного  $D_2$  состояний демпфера;

$\sigma(D_1)$ ,  $\sigma(D_2)$  – соответственно средние квадратичные отклонения исправного  $D_1$  и дефектного  $D_2$  состояний демпфера (см. таблица 2).

Как показано выше, дополнительными критериями дефектного состояния демпфера может служить наличие дополнительных резонансов на собственных частотах одноузловой и двухузловой форм крутильных колебаний.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Агуреев, А.Г. Крутильные колебания и надёжность судовых валопроводов / А.Г. Агуреев, Ю.С. Баршай. -М.: Транспорт, 1982. -112 с.
- 2 Родин, П. Диагностика демпферов / П. Родин, Б. Мельников // Судостроение. -1998. -№10. -С. 70-71.
- 3 Викулов, С.В. Критерий усталостной долговечности коленчатого вала дизеля / С.В. Викулов, С.С. Глушков, С.В. Штельмах // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№1. -С. 201-202.
- 4 Викулов, С.В. Прогнозирование остаточного ресурса коленчатого вала судового дизеля методом исследования крутильных колебаний / С.В. Викулов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№1. -С. 131-133.
- 5 Глушков, С.П. Автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс для регистрации крутильных колебаний энергетических установок БАГС-4 / С.П. Глушков, А.М. Барановский, С.С. Глушков // Сиб. науч. вестн. -2006. -Вып. 9. -С. 109-112.
- 6 Викулов, С.В. Торсионная оценка технического состояния силиконового демпфера валопровода судовых энергетических установок / С.В. Викулов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№1. -С. 140-141.
- 7 Р.009-2004. Расчет и измерение крутильных колебаний валопроводов и агрегатов: руководство. -М.: Рос. Реч. Регистр, 2004. -14 с.
- 8 Расчет крутильных колебаний валопровода: №19.02/1741-8 от 14.01.2003 г. -Новосибирск: ИПС, 2003. -37 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *судовой дизель, валопровод, силиконовый демпфер, крутильные колебания, техническое состояние, спектрограмма*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Викулов Станислав Викторович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## ЗАВИСИМОСТЬ СТРОЕНИЯ ЧАСТИЦЫ САЖИ МАЛОЗОЛЬНОГО ТОПЛИВА ОТ САЖЕСОДЕРЖАНИЯ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЯ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.П. Пушнин

DEPENDENCE OF SOOT PARTICLE OF LOW-ASH FUEL STRUCTURE FROM THE SOOT CONTENT EXHAUST GAS OF THE DIESEL ENGINE

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.P. Pushnin

The density of spheres particles soot and the electrical resistance of soot of diesel engine fuel at the soot content exhaust gas 1,0-0,15 g/m<sup>3</sup> have been defined. The two models of structure the particle of diesel engine soot the low-ash fuel have been offer.

*Keywords: diesel engine soot, the low-ash fuel, model of structure the particle*

Определена плотность сферических частиц сажи и электрическое сопротивление сажи дизельного топлива при сажесодержании отработавших газов 1,0 и 0,15 г/м<sup>3</sup>. Предложены две модели строения частицы дизельной сажи малоазольного топлива.

Ранее автором проводились исследования сажи дизельного летнего топлива, полученной при весьма высоком сажесодержании отработавших газов ( $C = 1,0$  г/м<sup>3</sup>). Сажа отбиралась с дизеля 1С48,5/11, имеющего измененную конструкцию вставки дополнительной камеры. Отбор проб осуществлялся при помощи мультициклона. Была определена плотность частиц сажи [1] и электрическое сопротивление свободно засыпанного столба сажи после его уплотнения при различных нагрузках [2].

В настоящей работе подобные исследования проводились с сажой такого же топлива, но при  $C = 0,15$  г/м<sup>3</sup>. В этом случае сажа отбиралась из полости пустотелой пробки, ввернутой в глухой фланец выпускного коллектора серийного дизеля 2С48,5/11. Целью исследований было определение возможных моделей строения первичной частицы дизельной сажи дистиллятного топлива при значительно отличающемся сажесодержании отработавших газов. Исследования проводились на основе значений плотности и электропроводности сажи.

Исследования, связанные с плотностью проводились с агрегатами вторичных структур сферической или близкой к сферической форме (в дальнейшем и те и другие будут называться сферическими). В [1] был сделан вывод, что это некоторые значительно выросшие первичные частицы. Можно подсчитать на основании данных по фракционному составу и насыпной плотности фракций дизельной сажи, приведенных в [3], что доля крупных сферических частиц примерно 0,07% от общей массы сажи. Такие частицы видны в оптическом микроскопе и представляется возможным определить их плотность. Исследования по рассматриваемой здесь методике не возможно провести с первичными частицами дизельной сажи, имеющими согласно [4] диаметр от 15 до 170 нм.

Плотность агрегатов сажи определялась с использованием методики и материалов, изложенных в [1]. Сажа также при помощи распыливающе-осаждающего устройства последовательно осаждалась на шести препаратификсаторах, и периоды осаждения были теми же. Подготовленные препараты исследовались под микроскопом сравнения МС-51 в проходящем свете при увеличении  $\times 800$ . Оценка размеров частиц производилась при помощи объект-микрометра с ценой деления 10 мкм.

Результаты определения размеров частиц, осевших на препаратификсаторах с №1 по №6, представлены рисунке 1. На рисунке видно что, в каждом временном промежутке осаждения средние размеры  $d_{a2}$  агрегатов вторичных структур сажи меньше при меньшем сажесодержании отработавших газов. Следовательно, при  $C = 0,15$  г/м<sup>3</sup> частицы сажи более плотные, чем при  $C = 1,0$  г/м<sup>3</sup>.

Исходя из предпосылки, что все минеральные элементы топлива вошли в структуру сажи, при снижении  $C$  в прямой пропорциональной зависимости должна увеличиться и зольность.

Максимальное значение зольности сажи при различной величине  $C$  определялось по формуле

$$Z_c^{\max} = \frac{Z_T^{\max} \cdot 1000}{V_r \cdot C}, \%$$

где  $Z_T^{\max}$  – максимально допустимая соответствующим стандартом зольность топлива, %;

$V_r$  – объем продуктов сгорания, м<sup>3</sup>/кг;

$C$  – сажесодержание отработавших газов, г/м<sup>3</sup>.

Для дизельного топлива  $Z_T^{\max} = 0,01\%$ , при  $V_r = 17 \text{ м}^3/\text{кг}$  снижение  $C$  от 1,0 до 0,15 г/м<sup>3</sup> приведет к увеличению  $Z_c^{\max}$  с 0,6 до 4,0%.

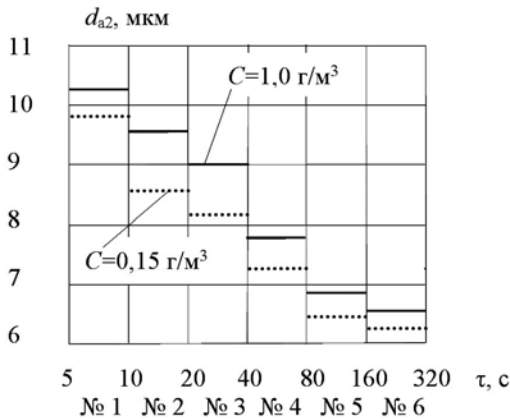


Рисунок 1 – Средний диаметр агрегатов вторичных структур сажи сферической формы дизельного летнего топлива, осевших в промежутки времени, соответствующие отбору на препаратификаторы от №1 до №6

Для сажи дизельного летнего топлива в [1] определена плотность  $\rho_{a2}$  сферических агрегатов вторичных структур, которая составила  $\rho_{a2} = 940 \text{ кг/м}^3$ . Используя материалы указанного источника, по зависимости, приведенной на рисунке 2, и исходя из среднего диаметра частиц, осевших на препаратификаторе №1, можно найти соответствующее значение плотности для любой сажи. При  $C = 0,15 \text{ г/м}^3$  полученное значение  $\rho_{a2} = 1240 \text{ кг/м}^3$  (это и плотностью первичных частиц сажи).

Электрическое сопротивление сажи дизельного летнего топлива при различном давлении для  $C = 1,0 \text{ г/м}^3$  было определено в [2], а для  $C = 0,15 \text{ г/м}^3$  найдено дополнительно (рисунок 3). Как видно, при снижении  $C$  от 1,0 до 0,15 г/м<sup>3</sup> электрическое сопротивление сажи увеличилось более чем на порядок.

В [5] приведены данные по электрическому сопротивлению и кажущемуся удельному объему при давлении 10,7 МПа двух марок технического углерода (HAF.RS и ISAF.RS). Удельное электрическое сопротивление этих марок сажи, полученное в результате пересчета составило примерно 70 и 50 Ом·см при давлении 10,7 МПа. Максимальная допустимая зольность технического углерода 0,5%.

Значения для одного и того же давления удельного электрического сопротивления технического углерода и сажи дизельного летнего топлива при  $C = 1,0 \text{ г/м}^3$  оказались близкими. Следовательно, структура поверхностного слоя дизельной сажи дистиллятных топлив при

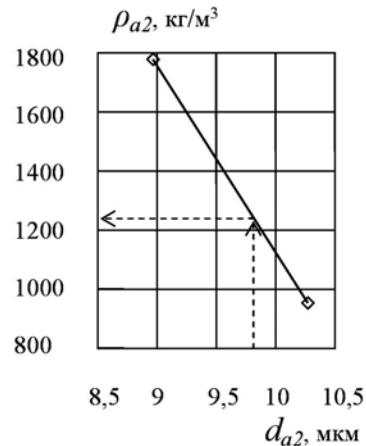


Рисунок 2 – Определение плотности агрегатов вторичных структур сажи сферической формы дизельного летнего топлива при  $C = 0,15 \text{ г/м}^3$  по среднему диаметру частиц, осевших на препаратификаторе №1

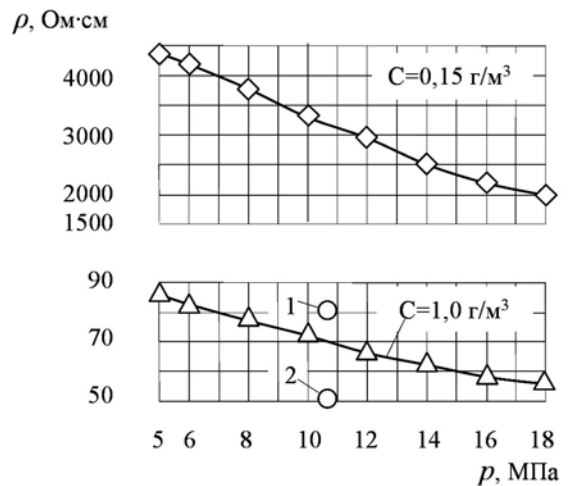


Рисунок 3 – Зависимость удельного электрического сопротивления сажи дизельного летнего топлива, полученной при разном сажесодержании  $C$  отработавших газов от давления и данные по техническому углероду, приведенные для сопоставления: 1-HAF.RS; 2-ISAF.RS

зольности около 0,5% и ниже подобна структуре поверхностного слоя технического углерода.

Согласно [5] рентгеновская плотность технического углерода (истинная плотность материала, из которого построена сажа) 2070-2110 кг/м<sup>3</sup>. Плотность рассмотренных сферических агрегатов дизельной сажи примерно в 2 раза меньше. Учитывая это, из приведенных в [6] моделей строения первичных частиц технического углерода, к дизельной саже дистиллятного топлива и при  $C = 1,0 \text{ г/м}^3$  и при  $C = 0,15 \text{ г/м}^3$  подходит структура с уплотненной оболочкой и менее плотной сердцевиной. Причем при  $C = 1,0 \text{ г/м}^3$  оболочка состоит из ориентированных по поверхности кристаллитов (рисунок 4а).

Применительно к частице сажи с повышенным содержанием минеральных составляющих более правильным для ее определения может стать термин «композиционное вещество на основе углеводорода». Углеродистое вещество является матрицей, которая связывает композицию и придает ей форму. Остальные вещества являются случайным образом расположенными наполнителями. Наполнители нарушают ориентацию кристаллитов по поверхности (рисунок 4б), о чем свидетельствует снижение электропроводности поверхностного слоя агрегатов сажи, образованных из обширно сросшихся частиц.

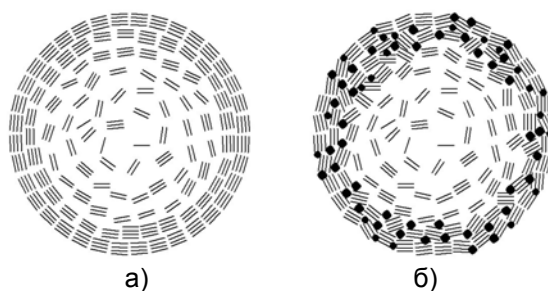


Рисунок 4 – Модели строения первичной частицы дизельной сажи дистиллятного топлива при малой (а) и повышенной (б) зольности сажи: а)-частица сажи с уплотненной оболочкой, состоящей из ориентированных по поверхности кристаллитов и менее плотной сердцевиной; б)-частица сажи с уплотненной оболочкой с нарушенной ориентацией кристаллитов по поверхности и менее плотной сердцевиной; отрезки-кристаллиты; точки-наполнители из минеральных составляющих

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Пушнин, В.П. Определение плотности агрегатов сажи с использованием образцов / В.П. Пушнин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2007. -№2. -С. 133-138.  
 2 Пушнин, В.П. Электрическое сопротивление дизельной сажи при повышенных давлениях / В.П. Пушнин // Сиб. науч. вестн. / Новосиб. науч. центр «Ноосферные знания и технологии», Рос. акад. естеств. наук. -Новосибирск, 2010. -Вып. XIV. -С. 62-65.  
 3 Пушнин, В.П. Комплексный подход к улавливанию и использованию дизельной сажи / В.П. Пушнин, А.А. Костюшкина // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№1. -С. 140-143.  
 4 Мачульский, Ф.Ф. Дисперсность и структура дизельной сажи / Ф.Ф. Мачульский // Токсичность двигателей внутреннего сгорания и пути ее снижения: симпозиум. -М., 1966. -С. 206-219.  
 5 Печковская, К.А. Сажа как усилитель каучука / К.А. Печковская. -М.: Химия, 1968. -216 с.  
 6 Березкин, В.И. Фуллерены как зародыши сажевых частиц / В.И. Березкин // Физика твердого тела. -2000. -Т.42, -Вып. 3. -С. 567-572.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** дизельная сажа, малозольное топливо, модель строения частицы  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Пушнин Валерий Петрович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГавт»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГавт»

## СПОСОБ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕОЛИТОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ОТ КОТЛОВ С ФАКЕЛЬНЫМ СЖИГАНИЕМ ТОПЛИВА

ФГБОУ ВПО «Забайкальский государственный университет»

А.Г. Батухтин, В.В. Пинигин

THE WAY OF ZEOLITES USAGE FOR HARMFUL EMISSIONS REDUCTION FROM BOILERS WITH TORCH FUEL BURNING  
 «Zabaikalsky state university»  
 A.G. Batuhitin, V.V. Pinigin

In the article it is presented the way of harmful emissions reduction from boilers with torch fuel burning with usage of zeolite solids of eastern Zabaykaliae. The economic explanation of zeolite usage of Shivrivtuiski deposit has made.

Keywords: ecology, efficiency, boiler, fuel, zeolite

Представлен способ снижения вредных выбросов от котлов с факельным сжиганием топлива с использованием цеолитсодержащих пород восточного Забайкалья. Произведено экономическое обоснование использования цеолита Шивиртуйского месторождения.

Ускорение развития российской экономики требует увеличения выработки электроэнергии. Предполагаемое при этом повышение доли сжигаемого твердого топлива в топливном балансе ТЭС без внедрения новых технологий и современного газоочистного оборудования, переработки и утилизации техногенных отходов, очистки дымовых газов от вредных выбросов приведет к значительному увеличению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Поэтому необходимость обеспечения как надежности энергоснабжения, так и экологической безопасности энергетических предприятий для соответствия требованиям международных стандартов, приводит к актуальности совершенствования управления охраной окружающей среды.

Одной из важнейших проблем энергетической отрасли промышленности является наличие больших объемов газовых выбросов, содержащих вредные газовые компоненты. Характерными для отрасли загрязняющими веществами являются диоксид серы, на долю которого приходится до 39% общего объема выбросов, твердые вещества (30%), оксиды азота (24%) [1].

В мировой практике накоплен большой опыт по разработке и освоению различных технологий газоочистки, учитывающий особенности работы тепловых электростанций и сжигаемого на них топлива [2]. Эффективность этих мероприятий достаточно высока, однако существенным их недостатком является высокая стоимость оборудования и эксплуатации, а также сложность технологических процессов и необходимость осуществления конструктивных изменений элементов энергетического оборудования и котельных агрегатов в частности. В этом плане преимущество получает адсорбционный способ очистки дымовых газов с помощью природных цеолитов [3].

Природные цеолиты как таковые уже довольно давно нашли применение в различных областях промышленности, а также в ряде производств (в качестве вспомогательного вещества для технологических нужд). Несмотря на это, в отрасли тепловой энергетики они не имели должного применения до настоящего времени (есть частный опыт их использования в водном хозяйстве энергетических объектов страны). Необходимо отметить, что природные цеолиты обладают рядом особенностей, которые дают возможность их использования в крупном масштабе для газоочистных нужд на ТЭС [4].

Общим достоинством цеолитов перед другими адсорбентами является их низкая стоимость и достаточная распространенность в Забайкальском крае как породообразующих минералов вслед за минералами кремнезема, полевыми шпатами и глинами, что определяет возможность их использования для очистки дымовых газов от котельных установок, работающих на различных видах топлива. Основную массу запасов в Забайкальском крае занимает цеолитсодержащий туф Шивыртуйского месторождения, содержание чистого цеолита в котором достигает около 80% по массе [5].

Немаловажной особенностью очистки дымовых газов с помощью природных цеолитов является также малая потребная площадь для размещения оборудования в ячейке котла.

Сущность предлагаемого способа очистки дымовых газов заключается в просыпке в конвективную шахту котла природного цеолита через устройства системы дробеструйной очистки поверхностей нагрева. При этом одновременно со снижением концентрации  $SO_2$  и  $SO_3$  в продуктах сгорания происходит снижение температуры точки росы дымовых газов, что в конечном итоге позволяет повысить надежность воздухоподогревателей. Кроме того, понижение температуры точки росы дымовых газов, позволяет осуществлять работу котла в реальных условиях с более глубоким охлаждением продуктов сгорания, то есть с более низкой температурой уходящих газов, что в свою очередь позволяет повысить экономичность котла по сравнению с работой в обычном режиме (без использования предлагаемой технологии).

Эффективность способа снижения вредных выбросов с использованием природных цеолитов зависит от относительного расхода цеолита, подаваемого в конвективную шахту котла, который определяется по формуле:

$$b_c = 0,32 \cdot S^p \sqrt{-\ln \frac{M_{SO_2} - M_{SO_2}^k}{M_{SO_2}^0 - M_{SO_2}^k}},$$

где  $b_c$  – относительный расход вводимого в конвективную шахту котла природного цеолита,

$$b_c = B_c / B_p ;$$

- $S^p$  – процентное содержание серы в топливе, %;
- $M_{SO_2}$  – необходимый уровень массового выброса  $SO_2$  поддерживаемый применением способа, г/с;
- $M_{SO_2}^k$  – установившийся массовый выброс  $SO_2$ , когда дальнейшее увеличение подачи цеолита в конвективную шахту котла не даёт заметного снижения оксидов серы, г/с;
- $M_{SO_2}^0$  – массовый выброс  $SO_2$  при отсутствии подачи цеолитов в конвективную шахту котла, г/с.

Экономическая оценка и обоснование способа снижения выбросов от котлов с факельным сжиганием топлива с использованием природных цеолитов может быть произведена с помощью методики, представленной ниже.

Суммарные издержки, связанные с реализацией метода, можно представить в виде суммы

$$I = I_{э/э} + I_{топл} + I_{цеол} + I_{экол}, \text{ руб.}$$

где  $I_{э/э}$  – затраты на электроэнергию, потребляемую приводом конвейера, осуществляющего подачу природных цеолитов к загрузочному устройству системы дробеструйной очистки поверхностей нагрева котла;

$I_{топл}$  – расходы на топливо;

$I_{цеол}$  – затраты на цеолит;

$I_{экол}$  – плата за выбросы.

Расходы на топливо являются функцией от относительного расхода цеолита и могут быть определены по формуле

$$I_{топл} = B_p^{var} \cdot C_{топл};$$

где  $B_p^{var}$  – вариативный расход топлива, изменяющийся в зависимости от относительного расхода цеолита

$$B_p^{var} = f(b_c), \text{ кг/с};$$

$C_{топл}$  – стоимость топлива, руб./кг;

Вариативный расход топлива может быть определен по формуле:

$$B_p^{var} = \frac{Q_1(1-q_4)}{Q_H^p(\eta_0 + \Delta q_2)},$$

где  $\Delta q_2$  – изменение (уменьшение) потерь теплоты с уходящими газами, данная величина также является функцией от изменения температуры уходящих газов, зависящего от относительного расхода цеолита, подаваемого в конвективную шахту котла

$$\Delta t_{yx} = f(b_c) = \frac{201}{1,05^{4,19 \cdot a_{yn} \cdot A^{\Gamma}}} \sqrt[3]{\frac{1}{Q_H^p} \left\{ S^p + S_k^p - (S^p - S_k^p) \exp \left[ - \left( \frac{b_c}{0,289 \cdot S^p} \right)^2 \right] \right\}},$$

$S^p$  – процентное содержание серы в топливе, %;

$S_k^p$  – содержание серы, соответствующее предельному массовому выбросу  $SO_2$ , когда дальнейшее увеличение подачи цеолита в конвективную шахту котла не даёт заметного снижения оксидов серы, %;

$a_{yn}$  – содержание золы в уносе;

$A^{\Gamma}$  – приведенная зольность, % кг/МДж.

Затраты на цеолит, подаваемый в конвективную шахту котла, могут быть определены по формуле

$$I_{цеол} = B_c \cdot C_{цеол},$$

где  $B_c$  – абсолютный расход цеолита, кг/с;

$C_{цеол}$  – стоимость цеолита, руб./кг.

Плата за выбросы оксидов серы, которая зависит от относительного расхода цеолита  $b_c$  и может быть определена по формуле

$$I_{экол} = M_{SO_2} \cdot T_{экол},$$

где  $M_{SO_2}$  – массовый выброс серы, соответствующий расходу цеолита

$$M_{SO_2} = f(b_c), \text{ г/с;}$$

$T_{экол}$  – тариф по уплате за выбросы оксидов серы.

Массовый выброс серы  $M_{SO_2} = f(b_c)$  можно определить, используя следующую зависимость

$$M_{SO_2} = (M_{SO_2}^0 - M_{SO_2}^k) \exp \left[ - \left( \frac{b_c}{0,32 \cdot S^p} \right)^2 \right] + M_{SO_2}^k .$$

Для определения годовых значений суммарных издержек можно воспользоваться методикой [6].

Таким образом, с использованием методики, представленной выше, возможно определение расхода цеолитов, необходимого для обеспечения требуемой степени очистки продуктов сгорания, а также экономическая оценка способа очистки дымовых газов с помощью природных цеолитов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Дмитриев, А.В. Очистка газовых выбросов ТЭС в аппаратах вихревого типа / А.В. Дмитриев, А.Н. Николаев, Н.А. Николаев // Пром. энергетика. -2006. -№3.
- 2 Дорфман, Ю.В. Разработка аддитивного способа использования цеолитов для снижения вредных выбросов от котлов с факельным сжиганием топлива / Ю.В. Дорфман, В.В. Пинигин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№1. - С. 186-188.
- 3 Дорфман, Ю.В. Моделирование поведения углей при разных способах его сжигания и их применение / Ю.В. Дорфман, Н.В. Горячих, А.Г. Батухтин // Вестн. Читин. гос. ун-та. -Чита, 2010. -№9. -С. 119-125.
- 4 Пат. 2421505 Российская Федерация, МПК С10L 10/00, С1. Способ снижения вредных выбросов при сжигании углей в топках с кипящим слоем / А.Г. Батухтин, М.С. Басс, Ю.В. Дорфман, П.Г. Сафронов (РФ). -№107697/05(010795); заявл. 02.03.10; опубл. 20.06.11, Бюл. №17.
- 5 Пинигин, В.В. Проблемы использования цеолитов для снижения вредных выбросов при сжигании твердого топлива / В.В. Пинигин, Ю.В. Дорфман // Энергетика: экология, надежность, безопасность: материалы XVI Всерос. науч.-техн. конф. / Томск. политехн. ун-т. -Томск, 2010. -С. 206-208.
- 6 Басс, М.С. Упрощенная методика расчета нормативов удельных расходов топлива в отопительных котельных применительно к условиям Забайкальского края / М.С. Басс, А.Г. Батухтин, С.А. Требунских // Пром. энергетика. -2009. -№9. -С. 37-41.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** экология, эффективность, котел, топливо, цеолит  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Батухтин Андрей Геннадьевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ЗабГУ»  
 Пинигин Василий Владимирович, аспирант ФГБОУ ВПО «ЗабГУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30, ФГБОУ ВПО «ЗабГУ»

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

ФГБОУ ВПО «Забайкальский государственный университет»

**М.С. Басс, А.В. Варавка**

### THE CHOICE OF OPTIMAL THERMAL INSULATION MATERIAL FOR HEAT CIRUITS

«Zabaikalsky state university»

M.S. Bass, A.V. Varavka

In the article geveen the analysis of application of modern thermal insulation materials in heat supply systems is made. It is given an example of calculation for part of main heat curcuits in Chita – city

*Keywords: heat circuits, thermal insulation, thermal energy, piping, loss of heat*

Приведен анализ применения современных теплоизоляционных материалов в системах теплоснабжения. Приведен пример расчета для магистрального участка тепловых сетей г. Чита.

При изолировании трубопроводов тепловых сетей необходимо выбирать теплоизоляционный материал, обеспечивающий оптимальный размер тепловых потерь при оптимальной толщине материала.

Но, даже зная оптимальную толщину и размер тепловых потерь, мы должны знать, является ли выбранный теплоизоляционный материал, самым эффективным как с технической, так и с экономической точки зрения.

Рассмотрим некоторые технические аспекты, необходимы для выбора оптимального изолятора, а также проведем сравнения некоторых наиболее распространенных и пригодных к эксплуатации материалов.



**Пенополимерминеральная изоляция (ППМ или ППБ).** Основные преимущества данного вида изоляции перед традиционными:

- Гарантирует безаварийную работу в течение не менее 30 лет.
- Не требуют системы контроля увлажнения изоляции.
- Просто и экономично решает проблемы изоляции стыков.
- При надземной прокладке поверхность ППМИ достаточно защитить только краской.
- Не боится увлажнения, обладая паропроницаемостью.
- Низкая стоимость фасонных изделий и заделки стыков позволяет сэкономить общую стоимость работ на 15-25%, по сравнению с ППУ изоляцией.

**Пенополиуретан (ППУ).** Пенополиуретан – наиболее эффективный и экологически чистый в настоящее время теплоизолятор для тепловых трубопроводов. В отличие от традиционных теплоизоляционных материалов, пенополиуретан при достаточной механической прочности обладает наименьшей теплопроводностью.

Основные преимущества перед традиционными:

- Повышение долговечности (30 и более лет).
- Снижение фактических тепловых потерь до 2-3%.
- Снижение эксплуатационных расходов в 9 раз.
- Снижение расходов на ремонт теплотрасс в 3 раза.
- Снижение капитальных затрат в строительстве в 1,3 раза.
- Значительное сокращение сроков строительства.
- Наличие системы оперативного дистанционного контроля за увлажнением изоляционного слоя.

**Армопенобетон (АПБ).** Изоляция представляет собой конструкцию, состоящую из теплоизоляционного армированного пенобетонного слоя с нанесенным на него 3-х слойным гидрозащитным покрытием.

Основные преимущества:

- Низкая плотность (200-250 кг/м<sup>3</sup>).
- Теплопроводность (0,05 Вт/(м·°С)).
- Высокая прочность на сжатие (не менее 0,7 МПа).
- Негорючесть.
- Высокая температура применения (до 300 °С).
- Отсутствие коррозионного воздействия на стальные трубы.
- Паропроницаемость гидрозащитного покрытия.
- Долговечность.

**Минеральная вата (МВ).** Минеральная вата (базальтовая вата) отличается высокой теплоизоляционной и звукоизоляционной способностью, негорючестью и влагостойкостью.

Основные преимущества:

- Надежность.
- Негорючесть.
- Оптимальное соотношение цена/качество.
- Огромный опыт работы с минеральной ватой.
- Широкая область применения.
- Экологическая безопасность
- Высокая химическая стойкость, не вызывает коррозию контактирующих с ней металлов.

**Вспененный полиэтилен (ВП).** Теплоизоляционные материалы из вспененного полиэтилена – одно из самых современных направлений в области инженерного оборудования. Эти материалы обладают замкнутой ячеистой структурой и могут быть использованы в диапазоне от -80 до +120 °С. Низкая теплопроводность материала, хорошее сопротивление диффузии водяного пара, эластичность, сочетаются с достаточной механической прочностью. Также достоинством этих материалов можно назвать стабильность механических свойств при различных температурах, отсутствие собственного запаха, простоту монтажа и кройки на готовой системе.

Основные преимущества:

- Экологически чистый.
- Эластичность.
- Высокая химическая и биологическая стойкость.
- Низкая теплопроводность.

– Низкое влагопоглощение.

**Фенольный поропласт (ФП).** Благодаря низкой средней плотности, высоким тепло- и звукоизоляционным свойствам, повышенной удельной прочности, а также ряду ценных технологических и эксплуатационных свойств пенопласты не имеют аналогов среди традиционных строительных материалов.

Однако большинству газонаполненных пластмасс свойственны определенные недостатки, существенно ограничивающие возможность их применения: пониженные огнестойкость, теплостойкость и температуростойкость (применение менее 200 °С). Кроме того, процессы деструкции («старения») этих материалов, биостойкость в процессе длительной эксплуатации до конца не изучены. Поровая структура полиуретановых и полистирольных поропластов – тонкодисперсная и относительно урегулированная.

Для определения оптимального теплоизоляционного материала на основе методики [1] был разработан программный комплекс по расчету экономической толщины изоляции и тепловых потерь теплосетей. С помощью данного программного комплекса был произведен расчет основных теплоизоляционных материалов в сравнении друг с другом при изоляции одного и того же трубопровода при одинаковых температурах теплоносителя и окружающего воздуха.

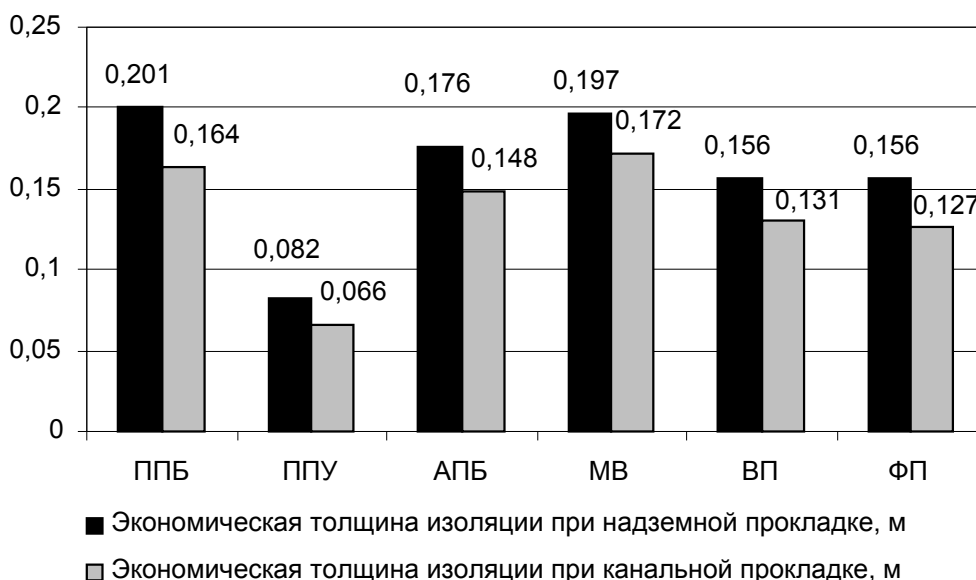


Рисунок 1 – Соотношение экономических толщин при надземной и канальной прокладках

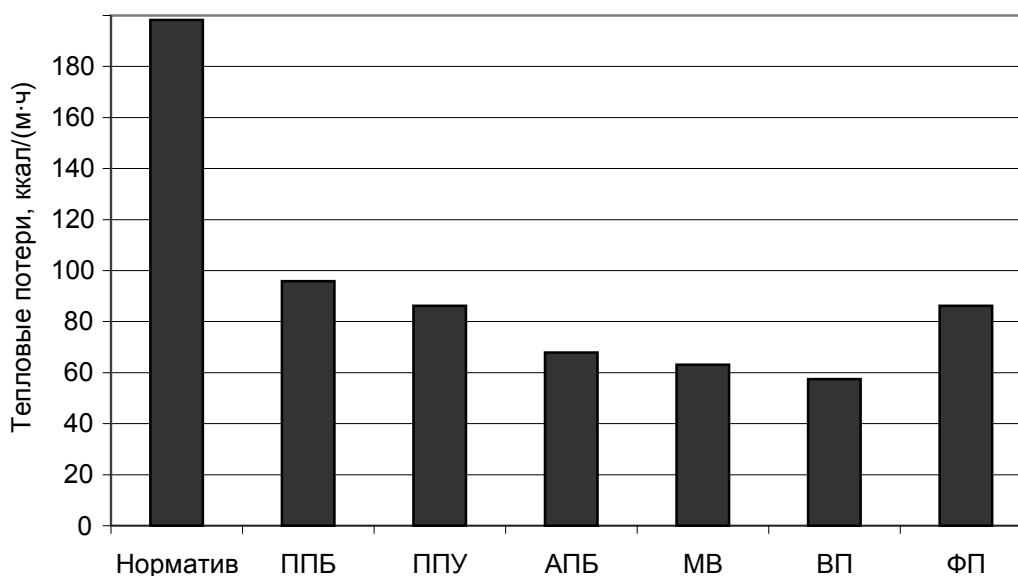


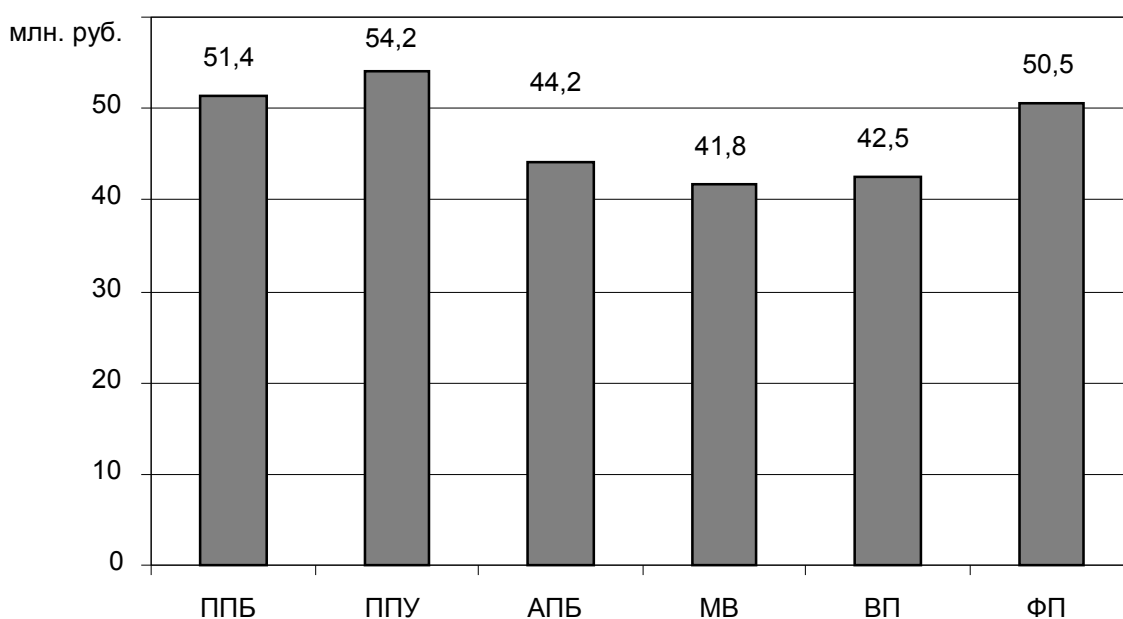
Рисунок 2 – Значения тепловых потерь для трубопровода диаметром 820 мм

Значения экономической толщины (рисунок 1) для подземной канальной прокладки трубопровода ниже, чем при надземной, что связано с достаточной высокой температурой грунта, по сравнению с температурой окружающего воздуха и аккумулярованием тепла в канале.

На рисунке 2 представлены значения тепловых потерь для трубопровода диаметром 820 мм.

По полученным тепловым потерям можно сделать вывод, что наиболее оптимальными теплоизоляционными материалами являются минеральная вата и вспененный полиэтилен. Также необходимо учитывать, что тепловые потери рассчитываются для каждого определенного значения экономической толщины, приведенных на рисунке 1.

Далее при одинаковой стоимости монтажа теплоизоляционных материалов, их реальной стоимости и соответствующей стоимости отпускаемого тепла рассмотрим затраты на полную замену изоляцию при различных типах изоляции на примере магистрального участка «ТЭЦ-1 -Город» для города Читы с диаметром трубопровода равным 820 мм, длине надземной прокладке 3246 м и по подземной 2165 м.



*Рисунок 3 – Соотношение финансовых затрат по замене теплоизолятора*

Таким образом, оптимальным теплоизоляционным материалов является вспененный полиэтилен. Применение данного теплоизолятора даст эффект, выраженный в наименьших эксплуатационных потерях, наименьших тепловых потерях, практически наименьших финансовых затратах на проект, и как следствие это приведет к наименьшему сроку окупаемости и наибольшей рентабельности проекта по сравнению с другими теплоизоляционными материалами.

Однако применение ВП ограничено из-за достаточно низкой максимальной температуры применения, а также сложной технологии монтажа трубопроводов и необходимой квалификации персонала.

Вспененный полиэтилен необходимо применять в комбинации с другими теплоизоляционными материалами, а именно в местах с высокими тепловыми потерями и сильной влажностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Басс, М.С. Методика определения затрат при замене теплоизоляции тепловых сетей: (на примере Забайкальского края) // Научно-технические ведомости СПбГТУ. -2009. -№3. -С. 42-48.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *тепловые сети, теплоизоляция, тепловая энергия, трубопровод, теплопотери*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Басс Максим Станиславович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ЗабГУ»*  
*Варавка Александр Вячеславович, аспирант ФГБОУ ВПО «ЗабГУ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *672039, г. Чита, ул. Александрово-Заводская, 30, ФГБОУ ВПО «ЗабГУ»*

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ДЛИНЫ СТЫКОВЫХ ПРОМЕЖУТКОВ РЕЛЬСОВЫХ НИТЕЙ НА ВЕЛИЧИНУ ДИНАМИЧЕСКОГО УДАРА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СКОРОСТЯХ ДВИЖЕНИЯ ЛОКОМОТИВА

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

ФГБОУ ВПО «Самарский государственный университет путей сообщения»

Тайгинский институт железнодорожного транспорта,

филиал ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

**Ш.К. Исмаилов, О.В. Гателюк, В.В. Бублик, А.Л. Золкин, Е.И. Селиванов**

STATISTICAL RESEARCHES OF INFLUENCE OF LENGTH OF BUTT INTERVALS OF RAIL THREADS ON SIZE OF DYNAMIC BLOW AT VARIOUS SPEEDS OF MOVEMENT OF THE LOCOMOTIVE

«Omsk state transport university»

«Samara state railway engineering university»

Taiga institute of railway transport, branch «Omsk state transport university»

Sh.K. Ismailov, O.V. Gateljuk, V.V. Bublik, A.L. Zolkin, E.I. Selivanov

In article necessity of carrying out of statistical researches of parameters of one of elements of the top structure of a railway way, lengths of a joint of rail threads on size of the dynamic blow perceived by the kolesno-motor block is proved. The calculations, allowed to receive three-dimensional mathematical model of dependence of dynamic influence of a way on КМБ for various operating modes of an electric locomotive are carried out.

*Keywords: electric locomotive, wheel and motor block, collector щеточный knot, vertical accelerations, length of a rail joint, dynamic blow, factor of regression*

Обоснована необходимость проведения статистических исследований параметров одного из элементов верхнего строения железнодорожного пути, длины стыка рельсовых нитей на величину динамического удара, воспринимаемого колесно-моторным блоком. Проведены расчеты, позволившие получить трехмерную математическую модель зависимости динамического воздействия пути на КМБ для различных режимов работы электровоза.

Многолетние наблюдения за работой тяговых электродвигателей (ТЭД) в различных режимах эксплуатации выявили наличие зависимости числа полных и частичных отказов от воздействия внешних сил механической природы на весь колесно-моторный блок (КМБ) и коллекторно-щеточный узел (КЩУ) в частности.

Динамические нагрузки, действующие на ТЭД, являются следствием колебаний подрессоренных и неподрессоренных масс КМБ электровоза. Поскольку как диапазон частот, так и уровень динамических нагрузок, соответствующих различным частотам, определяют скорость накопления усталостных повреждений, оценить вибрационную надежность элементов КМБ и КЩУ можно, лишь подробно проанализировав основные динамические нагрузки и оценив их статистические характеристики.

В процессе производства, ремонта и эксплуатации могут изменяться электрические параметры ТЭД (ток, напряжение, частота вращения, коэффициент ослабления поля), но механические связи между КМБ и ТЭД остаются прежними. Так как вертикальные ускорения –  $\ddot{y}$ , воспринимаемые КМБ, зависят не только от скорости движения локомотива и режимов его работы, но и от таких факторов, как состояние пути, зазоров между сопрягаемыми плетями рельсового пути (рисунок 1), подвижного состава, подвески ТЭД, времени года, то средние квадратические отклонения зависимостей вертикальных ускорений ТЭД от скорости движения, представляют собой частный случай, характерный только для данных условий и объекта исследований [1].

С ростом скорости движения электровоза разница в значениях амплитуды ускорений –  $\ddot{y}$  увеличивается. При этом разброс в амплитуде ускорений при прохождении стыков, очевидно, будет зависеть от длины стыка. Диаграмма распределения относительных частот размеров стыков, попадающих в заданный интервал, представлена на рисунке 2.

Поскольку при высоких скоростях движения электровоза вертикальное ускорение КМБ в режиме тяги в 1,5-2,0 раза больше, чем в рекуперативном и реостатном торможении, то при расчете показателей надежности ТЭД в эксплуатационных условиях необходимо учитывать не только время работы двигателей в том или ином режиме, скорости движения, но и величину стыковой неровности рельсов.

С целью оценки влияния величины стыка на коммутационную устойчивость ТЭД определим зависимость динамического удара КМБ от скорости движения и величины стыка рельсового полотна.

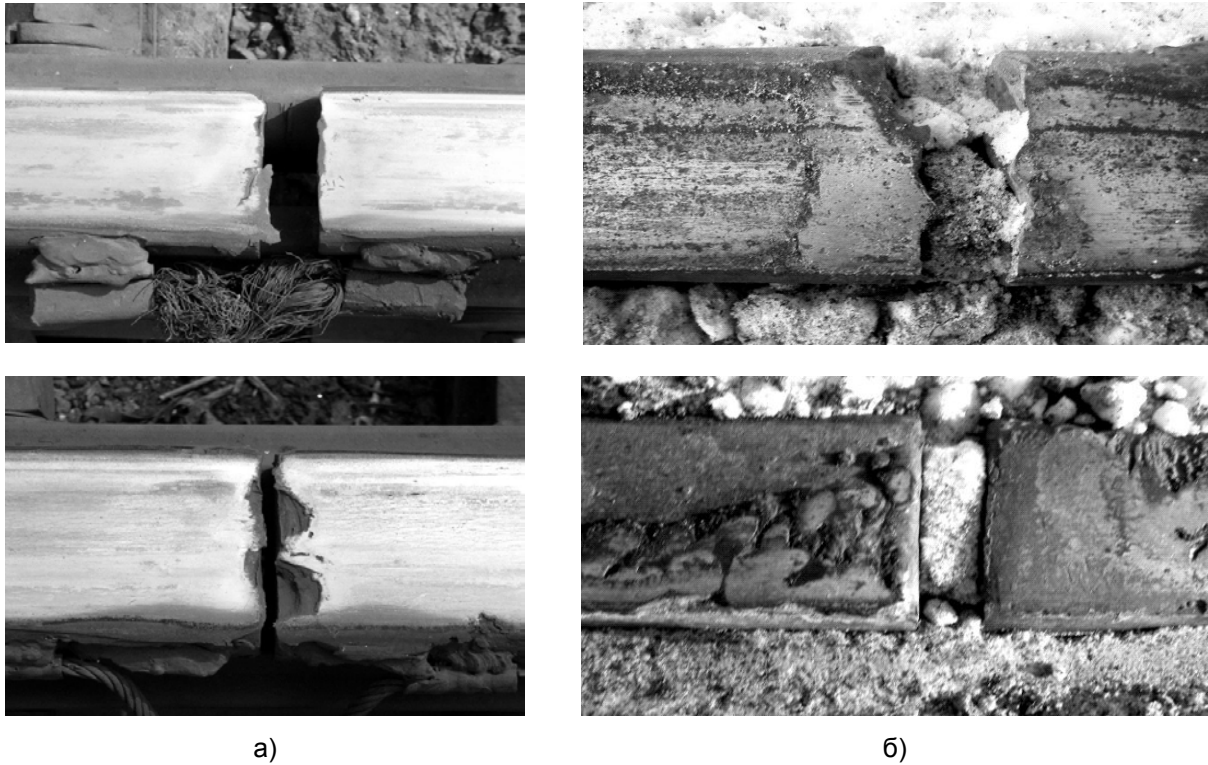


Рисунок 1 – Фотоснимок зазоров между сопрягаемыми участками рельсов: а)-железнодорожных; б)-трамвайных

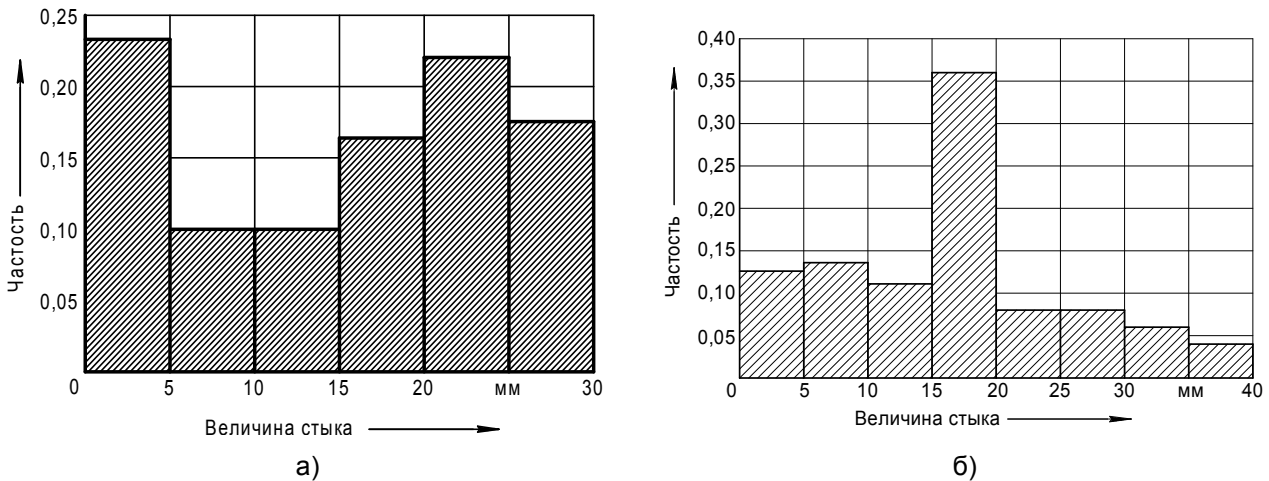


Рисунок 2 – Гистограмма относительных частот попадания размеров стыков в заданный интервал: а)-железнодорожный путь; б)-трамвайный путь

Для этого сначала найдем зависимость динамического удара от скорости при фиксированной величине длины стыка. Для этого находим разности 1, 2, 3, 4 и 5-го порядков. Так как эти разности, за исключением разностей 5-го порядка, возрастают, то степень аппроксимирующего многочлена равна 4. Найдем уравнение регрессии для  $T_L$  -приближенного значения величины динамического удара при фиксированной величине длины стыка, в виде

$$T_L = a_{0L} V^4 + a_{1L} V^3 + a_{2L} V^2 + a_{3L} V + a_{4L}, \quad (1)$$

где  $V$  – скорость, км/ч;

$a_{iL}$  – коэффициенты уравнения регрессии,  $i = 1, 2, 3, 4$ .

Найдем коэффициенты  $a_{iL}$  методом наименьших квадратов (для многочленов 2-го порядка соответствующие уравнения получены в [2])

$$\left\{ \begin{aligned} \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^8 \right) a_{0L} + \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^7 \right) a_{1L} + \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^6 \right) a_{2L} + \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^5 \right) a_{3L} + \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^4 \right) a_{4L} &= \sum_{i=1}^{10} (V_i^4 T_i); \\ \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^7 \right) a_{0L} + \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^6 \right) a_{1L} + \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^5 \right) a_{2L} + \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^4 \right) a_{3L} + \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^3 \right) a_{4L} &= \sum_{i=1}^{10} (V_i^3 T_i); \\ \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^6 \right) a_{0L} + \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^5 \right) a_{1L} + \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^4 \right) a_{2L} + \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^3 \right) a_{3L} + \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^2 \right) a_{4L} &= \sum_{i=1}^{10} (V_i^2 T_i); \\ \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^5 \right) a_{0L} + \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^4 \right) a_{1L} + \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^3 \right) a_{2L} + \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^2 \right) a_{3L} + \left( \sum_{i=1}^{10} V_i \right) a_{4L} &= \sum_{i=1}^{10} (V_i T_i); \\ \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^4 \right) a_{0L} + \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^3 \right) a_{1L} + \left( \sum_{i=1}^{10} V_i^2 \right) a_{2L} + \left( \sum_{i=1}^{10} V_i \right) a_{3L} + n a_{4L} &= \sum_{i=1}^{10} T_i. \end{aligned} \right. \quad (2)$$

Рассчитав определители системы (2) находим коэффициенты регрессии:

$$a_{0L} = \frac{\Delta_{a_{0L}}}{\Delta}; \quad a_{1L} = \frac{\Delta_{a_{1L}}}{\Delta}; \quad a_{2L} = \frac{\Delta_{a_{2L}}}{\Delta}; \quad a_{3L} = \frac{\Delta_{a_{3L}}}{\Delta}; \quad a_{4L} = \frac{\Delta_{a_{4L}}}{\Delta}.$$

Значения этих коэффициентов регрессии для всех величин стыка и трех режимов работы ТЭД сведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов регрессии

Режим	Величина стыка, мм	Коэффициенты в (1)					СКО*
		$a_{0L}, \text{Н}\cdot\text{ч}^4/\text{км}^4$	$a_{1L}, \text{Н}\cdot\text{ч}^3/\text{км}^3$	$a_{2L}, \text{Н}\cdot\text{ч}^2/\text{км}^2$	$a_{3L}, \text{Н}\cdot\text{ч}/\text{км}$	$a_{4L}$	
Тяги	5	$2,71 \cdot 10^{-5}$	-0,0013	0,067	-1,29	12508,1	3,37
	10	$1,90 \cdot 10^{-5}$	-0,0015	0,082	-1,69	25010,9	7,68
	15	$1,34 \cdot 10^{-5}$	-0,0011	0,062	-1,29	37508,3	4,92
	20	$1,03 \cdot 10^{-5}$	-0,0009	0,049	-1,02	50006,5	3,02
	25	$0,84 \cdot 10^{-5}$	-0,0007	0,04	-0,83	62505,3	1,97
	30	$0,70 \cdot 10^{-5}$	-0,0006	0,033	-0,69	75004,5	1,45
Выбега	5	$1,19 \cdot 10^{-5}$	0,00083	-0,042	0,985	12493,7	3,12
	10	$9,36 \cdot 10^{-6}$	-0,00011	0,0076	-0,113	25000,7	0,009
	15	$6,76 \cdot 10^{-6}$	-0,00016	0,0097	-0,173	37501,1	0,045
	20	$5,21 \cdot 10^{-6}$	-0,00014	0,0087	-0,166	50001,1	0,048
	25	$4,18 \cdot 10^{-6}$	-0,00011	0,0066	-0,119	62500,7	0,067
	30	$3,57 \cdot 10^{-6}$	-0,00011	0,0067	-0,128	75000,8	0,041
Рекуперативного, реостатного торможения	5	$9,56 \cdot 10^{-6}$	0,0012	-0,054	1,21	12492,3	4,52
	10	$7,75 \cdot 10^{-6}$	$7,56 \cdot 10^{-5}$	-0,0022	0,084	24999,5	0,037
	15	$5,61 \cdot 10^{-6}$	$-1,8 \cdot 10^{-5}$	0,0021	-0,018	37500,1	0,005
	20	$4,37 \cdot 10^{-6}$	$-4,1 \cdot 10^{-5}$	0,0033	-0,056	50000,4	0,008
	25	$3,54 \cdot 10^{-6}$	$-4,1 \cdot 10^{-5}$	0,0032	-0,055	62500,4	0,008
	30	$2,93 \cdot 10^{-6}$	$-2,9 \cdot 10^{-5}$	0,0022	-0,033	75000,2	0,011

\*-сумма квадратов отклонений

При увеличении скорости локомотива сила динамического удара при данной длине стыка существенно зависит от четвертой степени скорости. График уравнения регрессии для случая  $L = 30 \text{ мм}$  приведен на рисунке 3.

Используя полученные коэффициенты  $a_{iL}$ , строим регрессионную зависимость величины динамического удара от величины стыка. По-

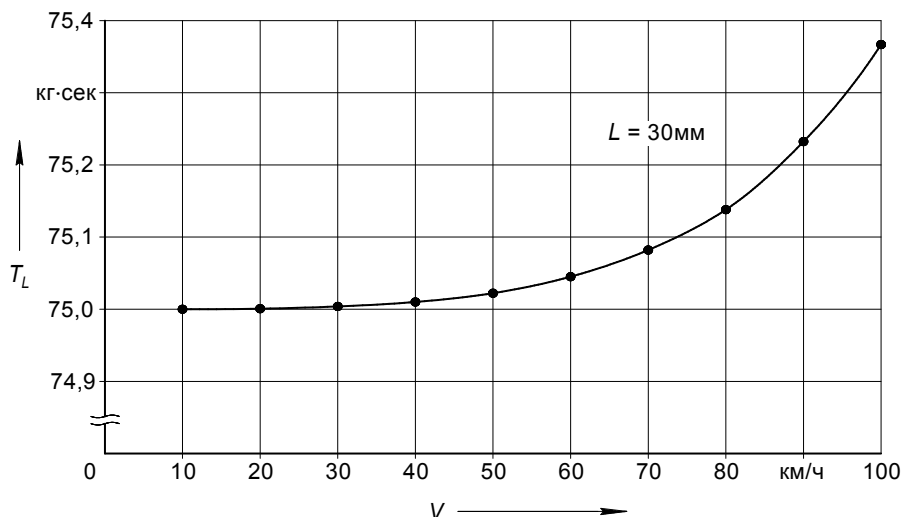


Рисунок 3 – Зависимость величины динамического удара от скорости движения электровоза

сколько коэффициент корреляции между средним значением динамического удара и величиной стыка равен 0,99, поэтому можно считать, что регрессионная зависимость является линейной:

$$a_{iL} = a_{iL}^{(1)}L + a_{iL}^{(2)}. \quad (3)$$

Коэффициенты  $a_{iL}^{(1)}$  и  $a_{iL}^{(2)}$  ( $i=0; 1; \dots; 4$ ) регрессии находим из следующей системы:

$$\begin{cases} \left( \sum_{i=1}^6 L_i^2 \right) a_{iL}^{(1)} + \left( \sum_{i=1}^6 L_i \right) a_{iL}^{(2)} = \sum_{i=1}^6 (L_i a_{iL}); \\ \left( \sum_{i=1}^6 L_i \right) a_{iL}^{(1)} + 6 a_{iL}^{(2)} = \sum_{i=1}^6 a_{iL}. \end{cases} \quad (4)$$

Находим определители этой системы, а затем определяем коэффициенты:

$$a_{iL}^{(1)} = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \quad a_{iL}^{(2)} = \frac{\Delta_2}{\Delta}.$$

Общая формула для расчета зависимости динамического удара от скорости и величины стыка будет иметь вид

$$T = a_{0L}^{(1)}LV^4 + a_{0L}^{(2)}V^4 + a_{1L}^{(1)}LV^3 + a_{1L}^{(2)}V^3 + a_{2L}^{(1)}LV^2 + a_{2L}^{(2)}V^2 + a_{3L}^{(1)}LV + a_{3L}^{(2)}V + a_{4L}^{(1)}L + a_{4L}^{(2)}. \quad (5)$$

Для определения величины динамического воздействия со стороны пути на КМБ при прохождении стыков различной величины был задан ряд скоростей движения электровоза  $V_3$  в интервале от 10 до 100 км/ч. Из условия, что при прохождении стыка величиной  $L_{cm} = 0$  мм динамическое воздействие со стороны пути отсутствует, то есть  $P_0 = 0$  кН (идеальный случай), принято допущение, что время прохождения электровозом стыков различной величины при разной скорости движения одинаково мало и равно  $t = 0,002$  с.

В результате расчетов получена трехмерная математическая модель (рисунок 4) зависимости динамического воздействия пути на КМБ от величины стыка и скорости движения электровоза при различных режимах работы.

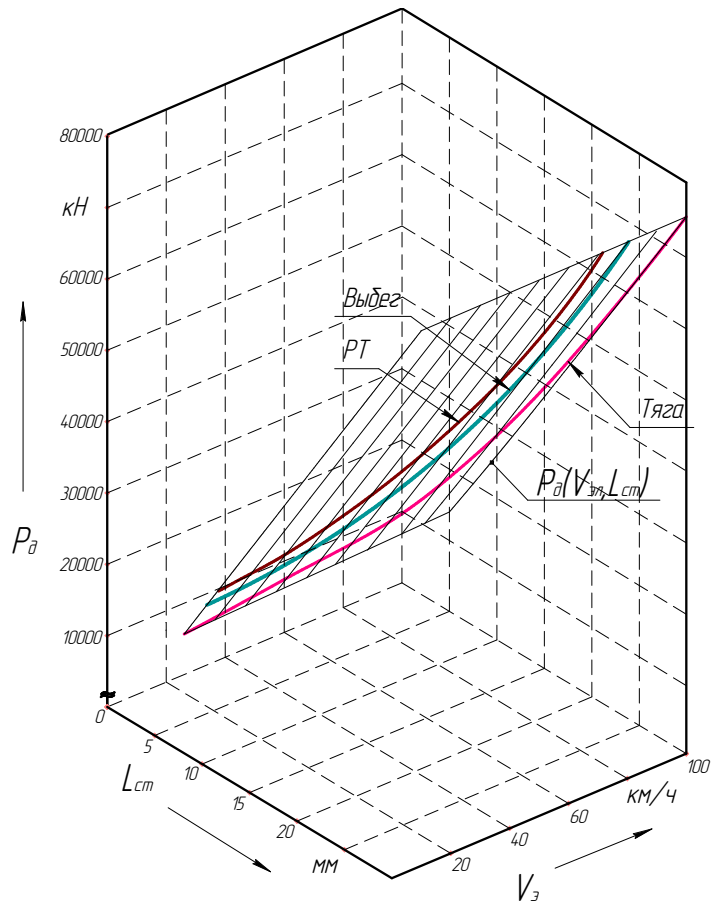


Рисунок 4 – Зависимость динамического воздействия пути на КМБ от величины стыка и скорости движения электровоза при различных режимах работы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Исмаилов, Ш.К. Повышение ресурса изоляции электрических машин подвижного состава: монография / Ш.К. Исмаилов / Ом. гос. ун-т путей сообщения. -Омск, 2007. -391 с.  
 2 Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. -М.: Высш. шк., 2001. -479 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электровоз, колесно-моторный блок, коллекторно-щеточный узел, вертикальные ускорения, длина рельсового стыка, динамический удар, коэффициент регрессии  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Исмаилов Шафигула Калимуллович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»  
 Олег Владимирович, канд. физ.-мат. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»  
 Бублик Владимир Васильевич, канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»  
 Золкин Александр Леонидович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СамГУПС»  
 Селиванов Евгений Иванович, директор ТИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»  
 443066, г. Самара, 1-й Безымянный переулок, 18, ФГБОУ ВПО «СамГУПС»  
 652401, Кемеровская область, г. Тайга, ул. Молодежная, 13, ТИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

## АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГЛАВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ РЕЧНЫХ СУДОВ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

И.Г. Мироненко

**ANALYSIS OF THE OPERATIONAL SAFETY OF THE MAIN ENGINES OF THE RIVER SHIPS**  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
I.G. Mironenko

Analysis of the crisis on the river fleet. The possible versions of the solution of the problem of the innovation repair are examined. The optimization of the volumes of the innovation repair is proposed.

*Keywords: safety, navigation, resource, repair, diagnostics, fatigue*

Приводится анализ кризисной ситуации, сложившейся в отрасли, вызванной старением флота. Рассматриваются возможные варианты решения проблемы капитального ремонта двигателей. Предлагается оптимизация объемов капитального ремонта.

Одной из важнейших составляющих безопасности судоходства сегодня является проблема старения судов и судового оборудования. Реалии сегодняшнего дня свидетельствуют о том, что механическое и энергетическое оборудование судов продолжает стареть и обновляется крайне медленно. За время работы, прошедшее с момента изготовления, основные детали двигателя накопили усталостные повреждения металла, которые всё чаще проявляются в эксплуатации в виде образования трещин и аварийного разрушения деталей. Анализ результатов обследования судовых двигателей, отработавших назначенные ресурсы [1], показывает, что уже к 2014 году мы можем получить транспортный паралич на реках Сибири. Для того чтобы обеспечить техническую и технологическую безопасность магистральных транспортных судов, очевидно, нужен капитальный ремонт существующих двигателей и/или их замена новыми двигателями.

Заменить сегодня половину дизельного парка, активно участвующего в перевозках или сделать капитальный ремонт 80% главных двигателей, причём всем и сразу, просто не реально. Сегодня это потребует колоссальных финансовых вливаний. На это просто не хватит производственных мощностей. Острота проблемы усугубляется финансовым кризисом, который уже сегодня приводит к уменьшению объемов перевозок, а следовательно и объемов судоремонта, и капитального ремонта судовых дизелей в частности. Недостаток финансовых средств, ежегодное естественное сокращение квалифицированных кадров, ставят под сомнение даже капитальный ремонт ДВС в корпусе судна.

Выход из сложившейся ситуации видится в следующем: если капитальный ремонт всем двигателям одновременно выполнить невозможно, его нужно упорядочить. Для этого необходимо определиться: в чём отличие капитального ремонта двигателя от среднего и текущего. В соответствии с [2] отличительным признаком капитального ремонта двигателя является ремонт коленчатого вала. Этому не противоречит и требование ГОСТ 10150-88 [3]: «Ремонт, осуществляемый с целью восстановления исправного состояния и полного или близкого к полному восстановлению ресурса с восстановлением изношенных поверхностей базовых деталей и коленчатого вала и переукладкой его в новые подшипники в соответствии с требованиями ремонтной документации». В этой фразе обращает на себя внимание следующее: «...с восстановлением изношенных поверхностей ... коленчатого вала». Следовательно, если в результате дефектации установлено, что шейки коленчатого вала изношены, то есть отклонения геометрических параметров шеек выходят за пределы, установленные нормативной документацией, имеются другие дефекты, требующие устранения, то такой вал требует обязательного ремонта. А категория ремонта, в составе которого будет ремонтироваться коленчатый вал, может быть классифицирована как капитальный. Это – очевидно!

Теперь предположим, что шейки коленчатого вала, отработавшего два назначенных ресурса до капитального ремонта, не изношены и не имеют дефектов, предусмотренных техническими условиями на капитальный ремонт и требующих немедленного устранения. И в этом заключается главный парадокс сегодняшней ситуации: двигателей, отработавших назначенный ресурс до капитального ремонта достаточно много, но далеко не все коленчатые валы у этих двигателей изношены! Что делать и как поступить в этом случае? Тоже – оче-



видно: заменить капитальный ремонт средним или текущим, а срок эксплуатации двигателя до капитального ремонта продлить.

В основу такой селекции коленчатых валов, кроме традиционных методов дефектации и дефектоскопии, должна быть положена ещё и диагностика усталостных повреждений металла, поскольку (и это не новость) именно усталость является одной из главных причин аварийного разрушения основных деталей двигателя. Практика показывает, что разрушаются не те детали, которые были признаны негодными к эксплуатации, а те, которые прошли дефектацию, признаны годными и были допущены к эксплуатации. Приведу несколько примеров.

Рассмотрим изменение технического состояния главных двигателей теплоходов «Василий Шукшин» и РТ-646 ОАО «ЗСПП» (таблица 1) за несколько лет. Следует заметить, что техническое состояние коленчатых валов может быть классифицировано как годное на протяжении всего эксперимента: геометрические параметры шеек не выходили за пределы, установленные нормативной документацией; поверхностных и подповерхностных дефектов, разрушений не обнаружено. Прогнозируемый срок безопасной эксплуатации коленчатых валов определялся по результатам диагностики усталостных повреждений металла.

*Таблица 1 – Сравнительный анализ изменения технического состояния коленчатых валов главных двигателей теплоходов «Василий Шукшин» и РТ-646 ОАО «ЗСПП»*

Теплоход / двигатель	Год проведения обследования / наработок, ч	Прогнозируемый срок безопасной эксплуатации, ч
Василий Шукшин / 6NVD26-A3 (левый)	2004 / 41 591	10 000
	2008 / 51 623	преддефектное состояние
	2011 / 54 229	преддефектное состояние
Василий Шукшин / 6NVD26-A3 (правый)	2004 / 41 591	10 000
	2008 / 51 623	преддефектное состояние
	2011 / 54 229	преддефектное состояние
РТ-646 / 6NVD26-A3 (левый)	2004 / 47 238	10 000
	2009 / 58 456	10 000
	2011 / 63 641	10 000
РТ-646 / 6NVD26-A3 (правый)	2004 / 49 427	6 000
	2009 / 60 635	10 000
	2011 / 65 000	преддефектное состояние

Сравнительный анализ показывает, что первоочередным преимуществом в проведении капитального ремонта обладают двигатели т/х «Василий Шукшин», не смотря на то, что их фактический наработок несколько меньше, чем у двигателей РТ-646. Вторым в очереди на капитальный ремонт должен оказаться правобортный двигатель РТ-646, но и он может держаться в эксплуатации некоторое время при условии проведения среднего ремонта и/или введения некоторых эксплуатационных ограничений. Техническое состояние левобортного двигателя РТ-646 вполне удовлетворительное и он может быть допущен к эксплуатации до следующего очередного освидетельствования при условии проведения текущих ремонтов.

Приведённый пример иллюстрирует проведение сравнительного анализа изменения технического состояния главных двигателей всего двух теплоходов, но подобный анализ может быть выполнен и по всему дизельному парку в масштабах всего пароходства. Такой анализ будет гораздо эффективнее и позволит спланировать проведение капитального ремонта, снабжение сменно-запасными частями и даже обновление дизельного парка на ближайшие годы. Но, самое главное, он позволит предотвратить аварийные разрушения двигателей в эксплуатации.

Другой пример говорит о том, что усталость металла может выступать как ограничивающий фактор, при определении годного состояния деталей судовых двигателей, а также, что с усталостью металла можно и нужно бороться. В 2008 году при проведении повторного обследования коленчатого вала левобортного двигателя т/х «Василий Шукшин», с помощью диагностики усталостных повреждений металла, выполненной методом магнитной памяти металла (ММП-контроль), во 2 и 5 шатунных шейках были обнаружены ярко выраженные зоны концентрации напряжений (ЗКН). Магнитограмма 2 шатунной шейки приведена на рисунке 1.

После полировки указанных шеек в пределах допуска на размер и регулировки раскепа

произошла релаксация зон концентрации напряжений (ЗКН), вызванных усталостными повреждениями металла (рисунок 2).

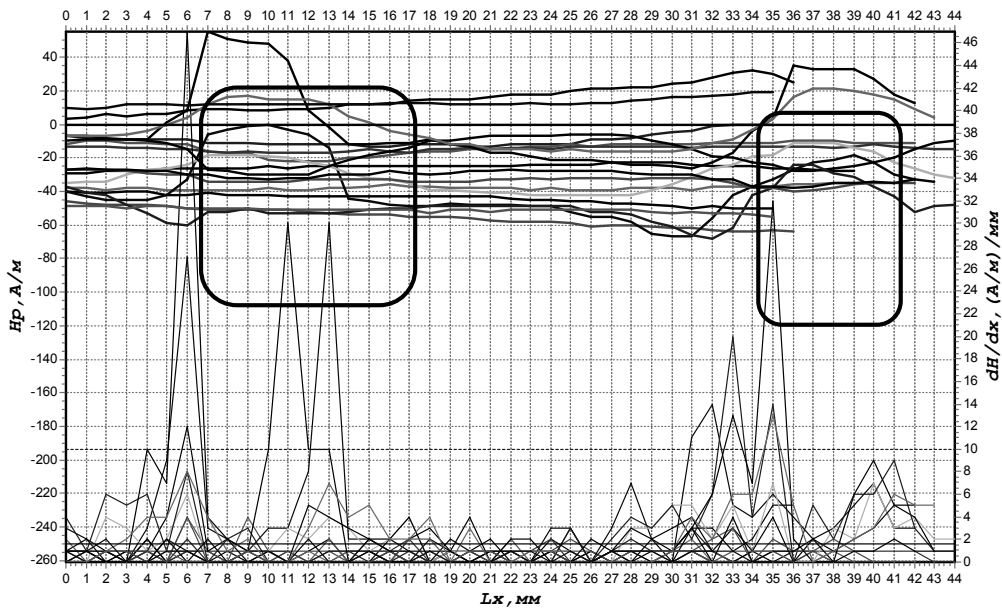


Рисунок 1 – Магнитограмма 2 шатунной шейки коленчатого вала

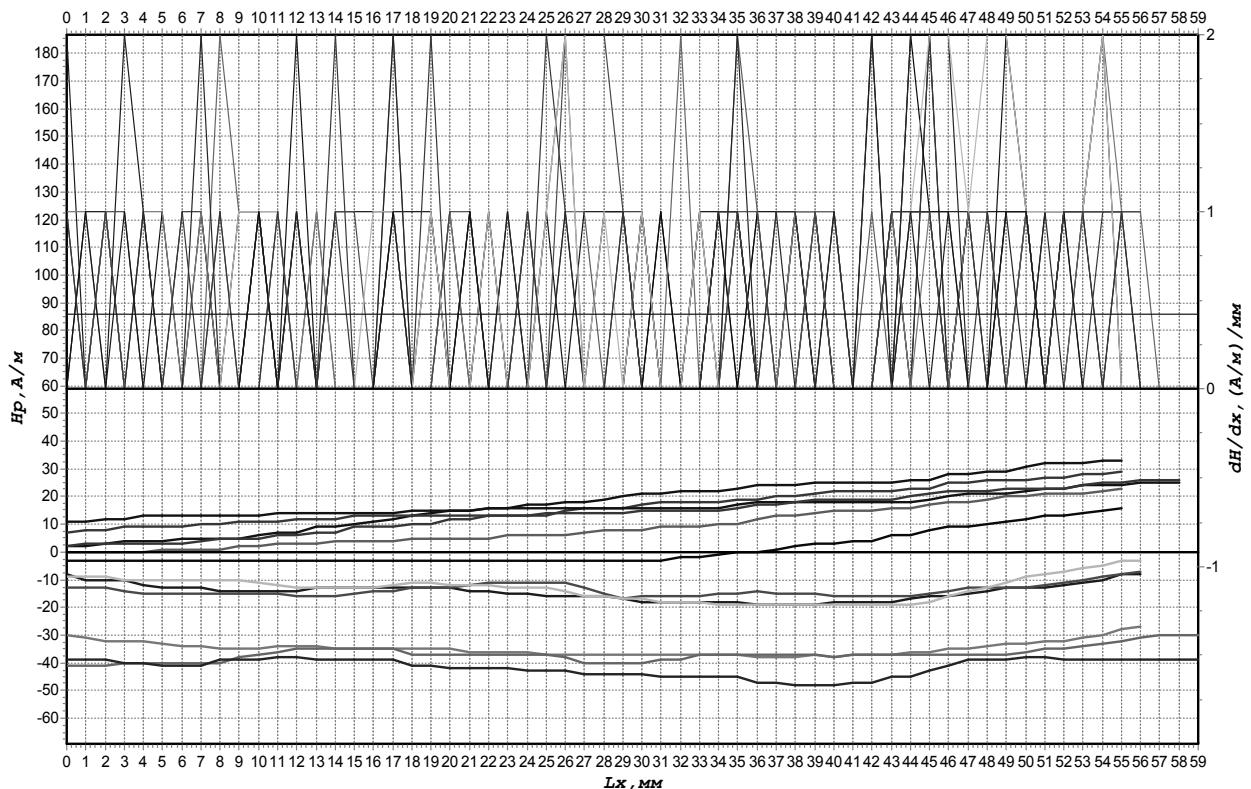


Рисунок 2 – Магнитограмма 2 шатунной шейки после полировки шеек коленчатого вала и работы двигателя в течение одной навигации

Однако выполнение ремонта не в полном объеме, рекомендованном Ведомостью дефектов, привело к тому, что в процессе дальнейшей эксплуатации двигателя в 4 и 7 коренных шейках коленчатого вала образовались новые ЗКН, вызванные усталостью металла (рисунок 3). Состояние коленчатого вала вновь классифицировано как преддефектное. Дальнейшая эксплуатация данного коленчатого вала без проведения капитального ремонта может привести к его внезапному аварийному разрушению.

Из всего выше сказанного можно сделать следующие выводы:

1 Для обеспечения технической и технологической безопасности магистральных транспортных судов, необходимо проведение широкомасштабного капитального ремонта существующих двигателей и/или их замена новыми двигателями;

2 Критерием, отличающим капитальный ремонт двигателя от других категорий ремонта, является техническое состояние коленчатого вала. Если коленчатый вал находится в работоспособном состоянии и не нуждается в ремонте, то срок эксплуатации двигателя до капитального ремонта может быть продлён, а капитальный ремонт двигателя заменён средним или текущим (то есть по фактическому состоянию);

3 В качестве ограничивающего фактора при определении технического состояния ответственных деталей судовых двигателей необходимо принять (внести в технические условия на капитальный ремонт) усталостные повреждения металла.

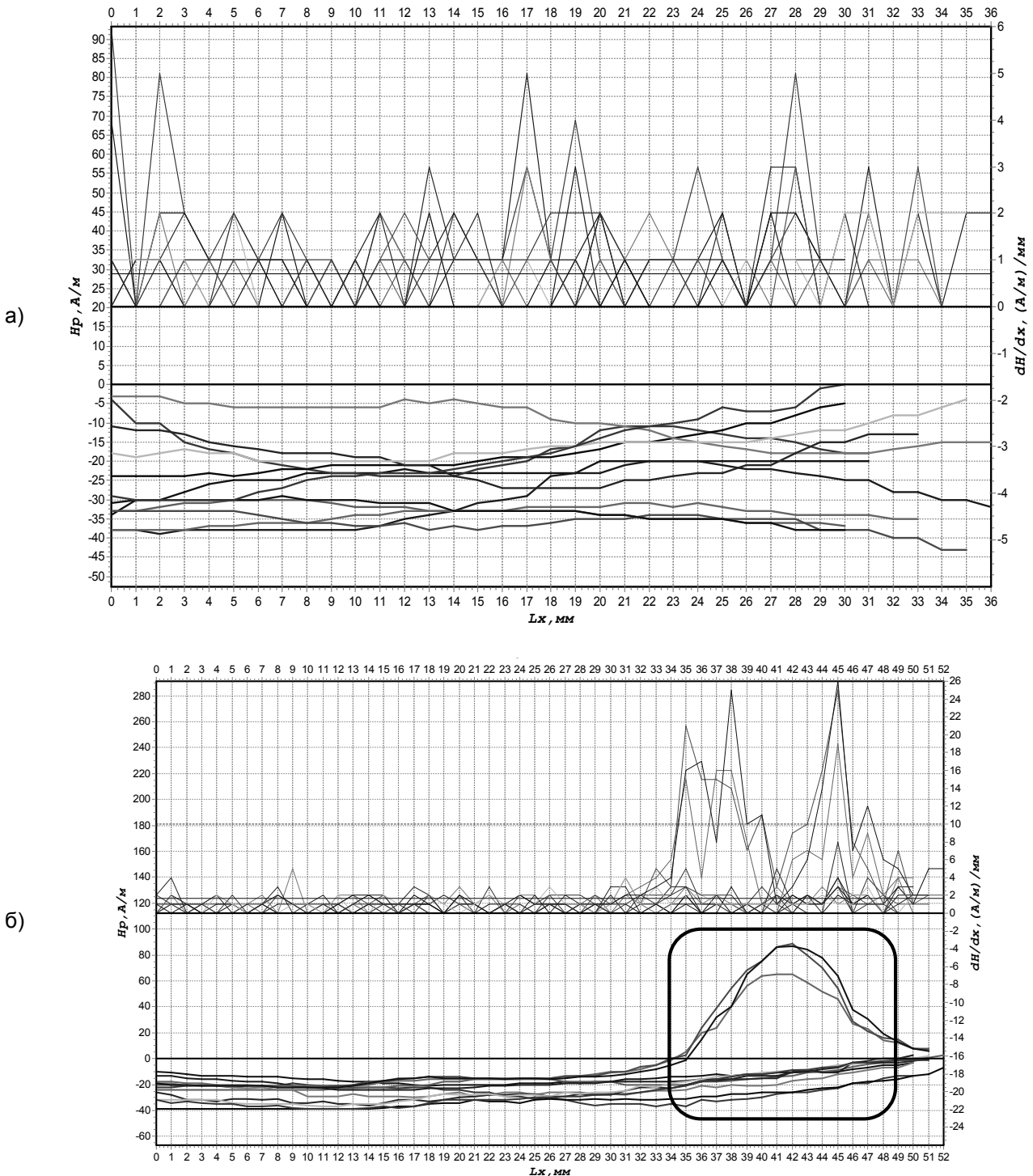


Рисунок 3 – Магнитограммы 4 коренной шейки коленчатого вала, снятые в 2008 (а) и 2011 (б) году при предремонтном обследовании коленчатого вала

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Мироненко, И.Г. Обеспечение безопасности эксплуатации речных судов / И.Г. Мироненко // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№2. -С. 225-228.  
 2 Технические условия на ремонт Ч и ЧН18/22-УР РА. Дизели 6ЧСП 18/22, 6ЧСПН18/22, 8ЧСПН18/22 и дизели дизель-генераторов ДГР100/750, ДГР150/750. -Внешторгиздат.  
 3 ГОСТ 10150-88. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Общие технические условия. -М.: Изд-во стандартов, 1989. -44 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *безопасность, судоходство, ресурс, ремонт, диагностика, усталость*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Мироненко Игорь Геннадьевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## «ПАРАДОКСЫ» ВЕКТОРА ПОЙНТИНГА

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**Л.А. Шеромов**

**«PARADOXES» THE POYNTING VECTOR**  
 «Novosibirsk state academy of water transport»  
 L.A. Sheromov

The inaccuracy of application of concept of a vector of Poynting to constant in time to an electromagnetic field is discussed.

*Keywords: electrodynamics, the Poynting vector, power flow*

Обсуждается ошибочность применения понятия вектора Пойнтинга к постоянному во времени электромагнитному полю.

Поток энергии электромагнитного поля через определенную площадь и за определенное время, как известно [1], равен

$$P = \frac{c}{4\pi} E \times H,$$

то есть, векторному произведению напряженностей электрического и магнитного поля ( $c$  - электродинамическая постоянная).

При внимательном рассмотрении уравнений Максвелла и последовательности их вывода (например, [1]) видно, что эти уравнения описывают только переменные электрические и магнитные поля, которые вызывают друг друга. Тем не менее, многие авторы (даже в учебниках по физике для вузов) пытаются применить их и, в частности, вектор Пойнтинга к стационарным полям. Это приводит к абсурду, например, втекания энергии поля из окружающей среды в проводник с постоянным током, или существование некоторого потока энергии около расположенных вблизи друг друга постоянном магните и заряженном конденсаторе.

Повторим вывод выражения для вектора Пойнтинга в соответствии с [1].

Имеются уравнения Максвелла (в пустом пространстве)

$$\operatorname{rot} E = -\frac{1}{c} \frac{\partial H}{\partial t}; \quad (1)$$

$$\operatorname{rot} H = \frac{4\pi}{c} j + \frac{1}{c} \frac{\partial E}{\partial t}. \quad (2)$$

Умножим (скалярно) первое уравнение на  $H$ , а второе на  $E$  и сложим полученные уравнения почленно

$$\frac{1}{c} E \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{1}{c} H \frac{\partial H}{\partial t} = -\frac{4\pi}{c} j E - (H \operatorname{rot} E - E \operatorname{rot} H). \quad (3)$$

Замечая, что в левой части стоят производные от  $E^2$  и  $H^2$ , а разность в правой части (в скобках) равна дивергенции от векторного произведения векторов  $E$  и  $H$ , получим

$$\frac{\partial}{\partial t} \frac{E^2 + H^2}{8\pi} = -jE - \operatorname{div} P, \quad (4)$$

где  $P$  – вектор Пойнтинга.

Размерность всех членов уравнения (4) – Дж/(м<sup>3</sup>·сек).

Подставим теперь в уравнения (1) и (2) постоянные значения для электрического и маг-

нитного поля. Рассмотрим предварительно пустое пространство. Из исходных уравнений Максвелла сразу следует, что  $\operatorname{rot} E = 0$  и  $\operatorname{rot} H = 0$ , так как производные по времени от постоянных величин, стоящие в правой части уравнений, равны нулю; равен нулю и вектор  $j$ . Тогда уравнение (3) превращается в тождество ( $0=0$ ), и вектор Пойнтинга вывести невозможно. Его просто нет. Это случай магнита и конденсатора, лежащих рядом.

Рассмотрим теперь пример прямого проводника, по которому течет постоянный ток. Из уравнений (1) и (2) у нас остаётся только второе, в усеченном виде

$$\operatorname{rot} H = \frac{4\pi}{c} j . \quad (5)$$

Очевидно, что из него не вывести формулу для вектора Пойнтинга, так как оно не содержит электрического поля. Таким образом, при постоянных магнитном и электрическом полях вне и внутри проводника нет вектора Пойнтинга.

Так что «парадоксы», описанные в [3, 4], не существуют.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т.2. Теория поля / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. -М.: Наука, 1973.
- 2 Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т.8. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. -М.: Физматлит, 2005.
- 3 Тамм, И.Е. Основы теории электричества / И.Е. Тамм. -М.: Наука, 1966.
- 4 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике. Т.6. Электродинамика / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. -М.: Мир, 1977.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электродинамика, вектор Пойнтинга, поток энергии  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Шеромов Лев Александрович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГавт»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГавт»

## **ОЦЕНКА ИЗНОСА ГРЕБНЕЙ ЦЕЛЬНОКАТАНЫХ КОЛЕС ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДОРОЖНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

Забайкальский институт железнодорожного транспорта, филиал  
 ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей  
 сообщения»

**С.В. Четвериков, Д.Г. Налабордин**

**EVALUATION OF WEAR RIDGES ROLLED WHEELS OF FREIGHT CARS ON THE ROAD THE RESULTS OF THE EXPERIMENT**  
 Trans-Baikal institute of railway transport, branch «Irkutsk state university of means of communication»  
 S.V. Chetverikov, D.G. Nalabordin

In the article the results of an experiment to determine the road the wear crests of freight cars. Based on experimental data obtained by statistical methods for studying the distribution of thickness of the ridges in the cargo train, the value of specific wear and service life of the wheelset to the wear limit of the ridge.

*Keywords: rolling stock, the thickness of the ridge, wear and tear*

Рассмотрены результаты дорожного эксперимента по определению величины износа гребней грузовых вагонов. На основе опытных данных статистическими методами исследования получен закон распределения толщин гребней в грузовом поезде, величина удельного износа и ресурс колесной пары до предельного износа гребня.

Техническое состояние поверхности катания и гребня колеса оказывает огромное влияние на плавность хода вагона и взаимодействие с путями, особенно при прохождении стрелочных переводов. Различают следующие группы неисправностей [1]: естественные износы, термомеханические повреждения, нарушения сплошности металла.

К группе естественного износа относятся такие износы как различные виды проката поверхности катания колеса, износы гребня и другие.

Износы гребня цельнокатаного колеса [2] образуются вследствие интенсивности взаимодействия гребня колеса с головкой рельса. Этот процесс интенсифицируется при ненормируемой работе колесной пары, вызываемой неправильной ее установкой в тележке, значительной разницей диаметров кругов катания колес одной колесной пары, несимметричной посадкой колес на ось, а также из-за сужения рельсовой колеи. Во всех случаях колесная пара перекашивается в рельсовой колее и увеличивается частота набегания гребня на бо-

ковую грань головки рельса.

Известно, что в настоящее время, вероятность отказа грузового вагона в межремонтном периоде по предельному износу гребней колес является почти достоверным событием. Поэтому на протяжении многих лет исследование процесса износа гребней колес является актуальной проблемой железнодорожного транспорта.

В настоящее время, в целях детального изучения существующей проблемы Забайкальским институтом железнодорожного транспорта совместно со службой «Вагонного хозяйства» Забайкальской железной дороги проведен эксперимент по исследованию интенсивности износа гребней грузовых вагонов.

Для проведения эксперимента в качестве объекта исследования был выбран грузовой поезд №1297, состоящий из 40-а платформ для перевозки крупнотоннажных контейнеров, общий вес поезда составил 3075 т, условная длина 73 единицы. Исследование проводилось посредством последовательного измерения гребней колес грузовых вагонов поезда на станциях, где по ходу движения было предусмотрено техническое обслуживание, для чего в хвостовую часть поезда был прицеплен тормозоиспытательный вагон службы «Вагонного хозяйства» Забайкальской железной дороги (рисунок 1).



Рисунок 1 – Общий вид поезда №1297 с тормозоиспытательным вагоном

Подготовка опытного поезда №1297 производилась на станции Владивосток Дальневосточной железной дороги. Замер толщин гребней колесных пар грузовых вагонов выполнялся средством измерения «МАИК» с ценой деления 0,1 мм. Измерения производились на станциях Транссибирской магистрали, приведенных в таблице 1. Общий пробег поезда от станции формирования Владивосток Дальневосточной ж.д. до станции назначения Силикатная Московской ж.д. составил 9305 км.

Известно, что статистическая оценка [2] – измеримая функция от выборочного вектора или статистика, служащая приближением для исходного неизвестного значения оцениваемого параметра. Значениями статистической оценки служат или точки пространства оцениваемого параметра (точечная оценка), или его множества (интервальная оценка).

При статистической обработке экспериментальных данных установлено, что случайная величина – толщина гребней колес подчиняется нормальному закону распределения с плотностью вероятности равной

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x - \bar{x}_B)^2}{2\sigma^2}\right],$$

соответственно при увеличении пробега поезда изменяются только параметры  $\bar{x}_B$  и  $\sigma$  данного распределения. В таблице 2, представлены числовые характеристики случайной величины и точечные оценки распределения.

Гистограммы распределения частот толщин гребней представлены на рисунке 2.

Таблица 2 – Сводные расчетные данные

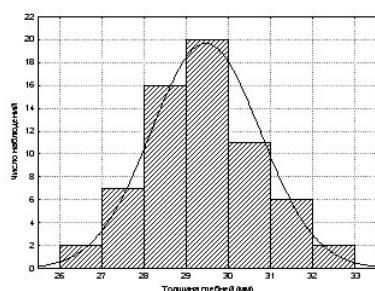
Наименование станции	Математическое ожидание случайной величины, мм	Дисперсия	Среднеквадратическое отклонение, мм	Значение $\chi^2$
Владивосток	29,4	1,8	1,3	1,04
Хабаровск	29,3	2,0	1,4	2,82
Белогорск	29,2	1,8	1,3	1,12
Карымская	29,0	1,45	1,2	3,47

Таблица 1 – «География» замеров толщин гребней колес грузовых вагонов поезда №1297

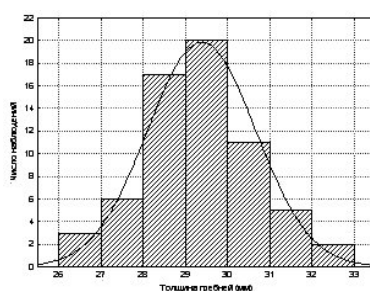
Станция	Железная дорога	Расстояние, км
Владивосток	Дальневосточная	0
Хабаровск	Дальневосточная	766
Белогорск	Забайкальская	657
Карымская	Забайкальская	1579
Нижнеудинск	Восточно-Сибирская	1613
Инская	Западно-Сибирская	1343
Войновка	Свердловская	1201
Юдино	Горьковская	1365
Силикатная	Московская	781
Всего		9305

Продолжение таблицы 2

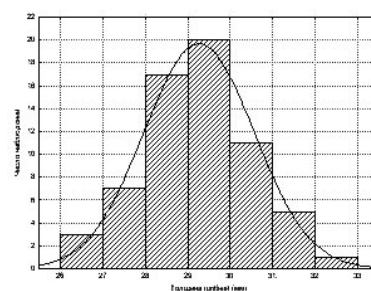
Наименование станции	Математическое ожидание случайной величины, мм	Дисперсия	Среднеквадратическое отклонение, мм	Значение $\chi^2$
Нижеудинск	28,9	1,9	1,4	2,11
Инская	28,8	1,5	1,2	4,8
Войновка	28,6	1,9	1,38	3,84
Юдино	28,4	2,0	1,4	3,35
Силикатная	28,3	1,7	1,3	1,35



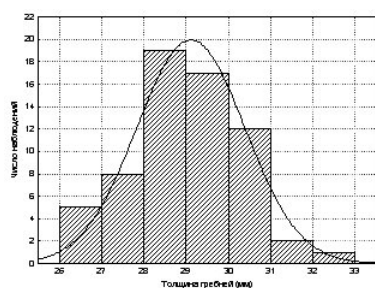
ст. Владивосток



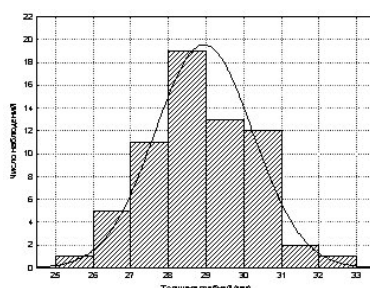
ст. Хабаровск



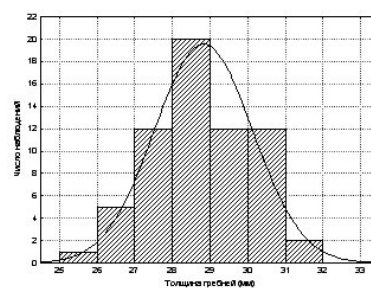
ст. Белогорск



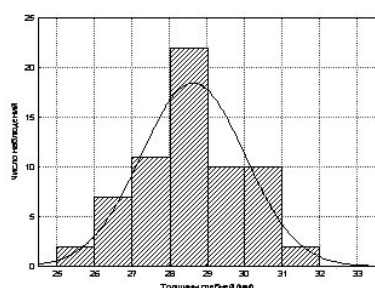
ст. Карымская



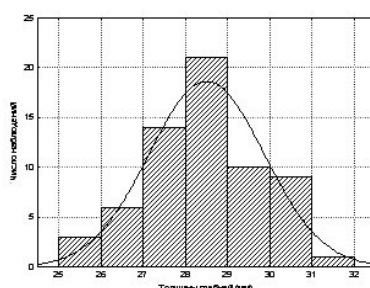
ст. Нижеудинск



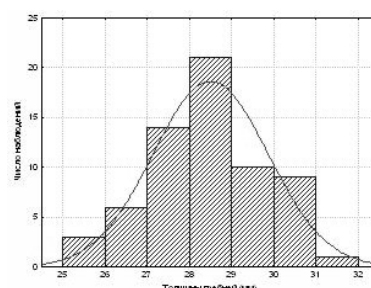
ст. Инская



ст. Войновка



ст. Юдино



ст. Силикатная

Рисунок 2 – Гистограммы распределения частот толщин гребней

По результатам обработки экспериментальных данных следует:

- удельная величина износа гребней колес грузовых вагонов составляет 1,1 мм на 9 тыс. км пробега;
- наработка до предельного износа составляет 80 тыс. км.

Полученные результаты исследования могут использоваться в качестве исходных данных для прогнозирования технического состояния ходовых частей грузовых вагонов, планирования сроков и объемов выполнения текущего ремонта грузовых вагонов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Технология производства и ремонта вагонов: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / К.В. Мотовилов, В.С. Лукашук, В.Ф. Криворудченко, А.А. Петров. -М.: Маршрут, 2003. -382 с.
- 2 Инструкция по осмотру, освидетельствованию, ремонту и формированию вагонных колесных пар: ЦВ/3429 / МПС СССР. -М.: Транспорт, 1977. -87 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** подвижной состав, толщина гребня, износ  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Четвериков Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»  
 Налабордин Денис Геннадьевич, ассистент ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 672040, г. Чита, Магистральный переулок, 11, ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»

## ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОГЕТЕРОГЕННОЙ ЭМУЛЬСИИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С ВОДОЙ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.П. Андриященко, В.В. Попков, С.В. Титов, Г.С. Юр

### THE OBTAINING MICRONHETEROGENEOUS DIESEL FUEL EMULSION WITH WATER

«Novosibirsk state academy of water transport»

S.P. Andryushchenko, V.V. Popkov, S.V. Titov, G.S. Jur

The analysis of the ways to get water fuel emulsion, a description of the experimental setup for the preparation of water fuel emulsion and photographs obtained with this installation microheterogeneous emulsion.

*Keywords: water fuel emulsion, properties on water fuel emulsion, installation for the preparation of water fuel emulsion*

Выполнен анализ способов получения водотопливной эмульсии, приведено описание действия экспериментальной установки для приготовления водотопливной эмульсии и фотографии полученной на этой установке микрогетерогенной эмульсии.

Одним из эффективных способов существенного уменьшения выбросов вредных веществ с отработавшими газами судовых дизелей является применение присадки воды к топливу в виде эмульсии [1].

При содержании воды в эмульсии в количестве 15-40% дымность отработавших газов снижается в 3-4 раза, концентрация оксидов азота на 30-50% [2].

Этот способ не требует больших капитальных вложений и существенных изменений в конструкции дизелей уже находящихся в эксплуатации. Например, для предприятий-перевозчиков имеющих парк устаревших автомобилей фирмы Elf (Германия) планируется перевод дизелей на ВТЭ, которую можно будет приобретать на заправочных станциях. Это позволит снизить выбросы загрязняющих веществ до обновления автопарка [3].

Дизелестроительные корпорации MAN Diesel & Turbo SE и Mitsubishi с целью сокращения вредных выбросов также широко используют ВТЭ в судовых дизелях [4].

В нашей стране, в конце прошлого века, большой объем работ по применению ВТЭ в качестве топлива для судовых дизелей, выполнен коллективом Новосибирской государственной академии водного транспорта под руководством О.Н. Лебедева и в Центральном научно-исследовательском дизельном институте. Широкое применение эмульсии тяжелого топлива с водой нашли на судах Западно-Сибирского речного пароходства [5, 6].

Известно, что с уменьшением размера включений водной фазы в эмульсии (при прочих равных условиях), происходит дальнейшее сокращение концентрации нормируемых вредных веществ в отработавших газах [7].

Для проведения исследований влияния качественного состава ВТЭ на экологические и экономические характеристики судовых дизелей необходимо разработать, изготовить и испытать установку для получения мелкодисперсной гетерогенной эмульсии из углеводородного топлива и воды. Установка должна быть простой по конструкции и надежной в работе.

Рассмотрим основные свойства ВТЭ и способы её приготовления.

Эмульсия – это смесь из двух нерастворимых жидкостей, одна из которых распределена в другой в виде капелек диаметром 0,1-100 мкм. Невидимые в оптический микроскоп частицы называются коллоидными. Их размеры лежат в диапазоне от 1-400 нм.

Приготовленная из углеводородных топлив и воды эмульсия неустойчива и склонна к разрушению. Основными видами разрушения эмульсий являются седиментация и коалесценция [8, 9].

Седиментация – это явление разделения фаз под действием силы тяжести (легкие частицы всплывают, тяжелые осаждаются). Сидементации может способствовать флокуляция – (агрегатирование) капель, то есть их слипание без слияния. Скорость седиментации флокулированных капель выше. Чем больше различие в удельном весе жидкостей и чем больше размеры капель – тем интенсивнее происходит процесс разделения фаз и выпадение осадка.

Коалесценция – это слияния мелких капель в более крупные и увеличение степени дисперсности. Происходит переход из метастабильного в термодинамически устойчивое состояние, в результате которого происходит полное разрушение эмульсии. Для создания ус-



тойчивой эмульсии применяют поверхностно-активные вещества. Моторные топлива и мазуты содержат в своем составе высокомолекулярные соединения, являющиеся эмульгаторами. Устойчивость таких эмульсий объясняется возникновением двойных электрических слоев на водной стороне межфазной поверхности. Стабилизация осуществляется за счет действия отталкивающих сил возникающих между одноименными электрическими зарядами.

Процессы седиментации и коалесценции особенно интенсивно происходят в дистиллятных дизельных топливах и с меньшей интенсивностью в мазутах плотность которых сопоставима с плотностью воды.

Скорость протекания процессов седиментации и коалесценции оказывает существенное влияние на устойчивость эмульсии, а это в свою очередь влияет на рабочий процесс дизеля.

Известны следующие, наиболее распространенные, способы и устройства для приготовления водотопливных эмульсий. Это:

- барботажные устройства – характеризуются неравномерностью распределения частиц дисперсной фазы по объему ВТЭ и крупными размерами капель ( $d_k = 20$  мкм);
- механические мешалки – предназначены для получения грубых эмульсий ( $d_k = 12-18$  мкм) и в них невозможно получить мелкодисперсную эмульсию;
- коллоидные мельницы – производят эмульсию высокого качества (средний размер капель 3-5 мкм). Однако они имеют малую производительность и для получения ВТЭ требуются большие затраты энергии;
- ультразвуковые и кавитационные устройства имеют высокую стоимость, сложны по конструкции и в эксплуатации ( $d_k = 5$  мкм);
- гидродинамические сирены (центробежные и роторно-пульсационные)  $d_k = 3-5$  мкм – относительно просты в изготовлении, обладают низкими энергетическими затратами при эксплуатации [10];
- струйные диспергаторы – просты по конструкции, однако для обеспечения их работы необходимо использование дополнительного оборудования. Для получения высококачественной эмульсии ( $d_k = 2-8$  мкм) требуется обеспечить её многократную циркуляцию;
- гомогенизаторы – сложны, работают при высоких давлениях (до 35 МПа), что ведет к преждевременному износу и поломке деталей ( $d_k = 1$  мкм).

Из приведенных сведений видно, что наиболее простыми в исполнении и эффективными в работе являются устройства использующие принцип струйных диспергаторов и гидродинамических сирен.

Для предварительной топливоподготовки тяжелых топлив на судах морского флота производится их обработка в переменном магнитном поле. Она способствует интенсификации процесса кавитации в струйных диспергаторах. Известно, что омагничивание ВТЭ повышает её устойчивость [11].

Высокая стабильность моторных топлив и мазутов содержащих асфальтены обеспечивается благодаря наличию одноименного электростатического заряда между частицами с высокой молекулярной массой. Эти заряды создают расклинивающий эффект и отбрасывают частицы друг от друга [12].

Аналогично и капли воды покрытые оболочкой эмульгатора могут быть как нейтральными, так и нести электрический заряд. Этим объясняется положительное воздействие электрического поля на стабильность эмульсии. Поэтому для повышения устойчивости ВТЭ капли воды должны иметь одноименный электрический заряд.

Таким образом, для получения стабильной высокодисперсной эмульсии из дизельного топлива и воды предлагается использовать последовательно следующие известные способы:

- многократное дробление капель воды в импульсных струйных диспергаторах с использованием процесса кавитации и с добавлением в качестве поверхностно-активного вещества мазута;
- последующее омагничивание и электризацию полученной эмульсии с целью повышения её стабильности.

В лаборатории СДВС «НГАВТ» была спроектирована и изготовлена установка для получения микрогетерогенной эмульсии, общий вид которой изображен на рисунке 1.

На рисунке 2 приведены фотографии обычной и микрогетерогенной эмульсии дизельное топливо с водой (концентрация воды в эмульсии равна 10%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гладков, О.А. Создание малотоксичных дизелей речных судов / О.А. Гладков, Е.Ю. Лерман. - Л.: Судостроение, 1990. -112 с.  
 2 Системы управления дизельными двигателями: пер. с нем. -М.: За рулем, 2004. -480 с.  
 3 Толшин, В.И. Режимы работы и токсичные выбросы отработавших газов судовых дизелей / В.И. Толшин, В.В. Якунчиков. -М.: Альтаир, 2005. - 212 с.  
 4 Pounders. Marin Diesel Engines and Gas Turbines. Eighth edition. Elsevier Butterworth-Heinemann. Linacre House / Jordan Hill; Oxford OX2 8DP. -2004. - 884 p.  
 5 Лебедев, О.Н. Водотопливные эмульсии в судовых дизелях / О.Н. Лебедев, В.А. Сомов, В.Д. Сисин. -Л.: Судостроение, 1988. -328 с.  
 6 Сомов, В.Д. Судовые многотопливные двигатели / В.А. Сомов, Ю.И. Ищук. -Л.: Судостроение, 1984. -240 с.  
 7 Experimental study on water particles action in the combustion of marine four-stroke diesel engine operated with emulsified fuels / T. Zhang, H. Okada, T. Tsukamoto, K. Ohe // CIMAC. -Vienna, 2007. - Paper №193.  
 8 Клейтон, В.Н. Эмульсии. Их теория и техника применения / В.Н. Клейтон. -М.: Изд-во иностр. лит., 1950. -675 с.  
 9 Шерман, Ф. Эмульсии / Ф. Шерман. -М.: Химия, 1972. -448 с.  
 10 Промтов, М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика / М.А. Промтов. -М.: Машиностроение, 2001. -260 с.  
 11 Эксплуатация судовых энергетических установок / С.В. Камкин [и др.]. -М.: Транспорт, 1996. -432 с.  
 12 Магнитная обработка воды / К. Джагласов [и др.] -Алма-Ата, 1961. -83 с.

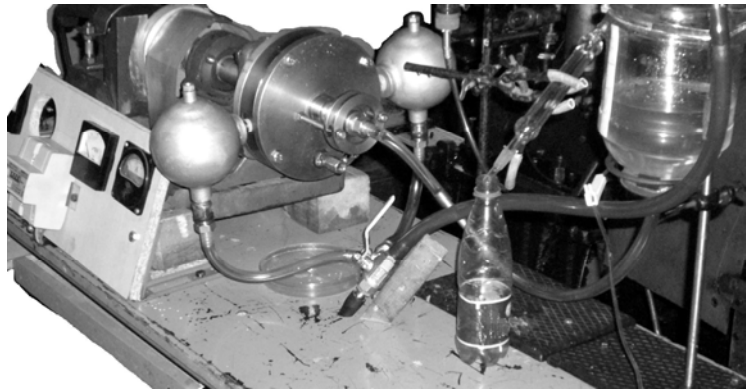
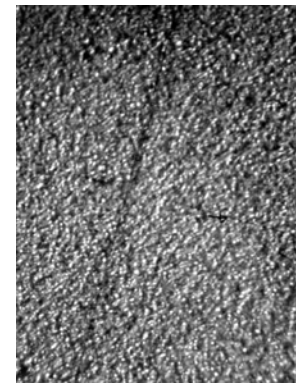
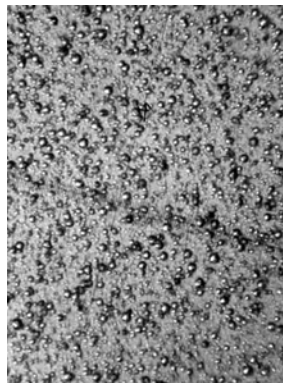


Рисунок 1 – Общий вид экспериментальная установка для получения высокодисперсной водотопливной эмульсии



а) б)

Рисунок 2 – Фотографии обычной (а) и микрогетерогенной (б) эмульсии, полученной на экспериментальной установке

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** водотопливная эмульсия, свойства водотопливной эмульсии, устройство для приготовления водотопливных эмульсий  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Андрющенко Сергей Петрович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Попков Владимир Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Титов Сергей Владленович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Юр Геннадий Сергеевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

**УЛУЧШЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕРОГО ЧУГУНА ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ**

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
 ФБОУН «Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича» СО РАН

**А.О. Токарев, С.Н. Иванчик, Л.Д. Макагон, И.С. Иванчик, А.М. Гурин**

**IMPROVEMENT TRIBOTEKHNIЧЕСКИХ OF CHARACTERISTICS OF GREY CAST IRON LASER PROCESSING**  
 «Novosibirsk state academy of water transport»  
 «Khristianovich institute of theoretical and applied mechanics», siberian branch of Russian academy of sciences  
 A.O. Tokarev, S.N. Ivanchik, L.D. Makagon, I.S. Ivanchik, A.M. Gurin

For increase of wear resistance of gray cast iron in pairs of friction the method of laser processing created structure with sites locally tempered round graphite inclusions. The received structure of a surface provides decrease in factor of a friction for 30 % and quadruple increase in wear resistance.

Keywords: tribotekhnicheskyy characteristics of gray cast iron, laser processing, microstructure by a principle of Sharpi

Для повышения износостойкости серого чугуна в парах трения методом лазерной обработки создана структура с локально закалёнными вокруг графитовых включений участками. Полученная структура поверхности обеспечивает снижение коэффициента трения на 30% и четырёхкратное увеличение износостойкости.

Повышение износостойкости цилиндрических втулок, как одной из наиболее нагруженных деталей двигателей внутреннего сгорания – путь к повышению моторесурса двигателей, улучшению его экологических характеристик. Улучшение триботехнических показателей пар трения «цилиндрическая втулка – поршневое кольцо» - обеспечивает снижение потерь на трение, повышение КПД двигателя, снижает удельный расход топлива.

Изготавливаются втулки цилиндров судовых дизелей из чугунов марок СЧ25 и СЧ30 с твердостью в пределах НВ 1900-2300 МПа и НВ 2400-2800 МПа, соответственно. Металлическая основа этих чугунов – мелкопластинчатый с переходом в сорбитообразный перлит. Графит – дисперсный и завихренный.

Большая часть решений проблемы улучшения триботехнических характеристик чугуна сводится к получению структуры карбидной эвтектики путём сложного комплексного легирования [1] или методом поверхностной закалки серого или высокопрочного чугуна с использованием источников энергии высокой концентрации [2].

В данной работе, выбрав лазерный метод обработки поверхности чугуна, определяли его оптимальные параметры. При этом учитывали, что для сохранения антифрикционных свойств в течение длительного периода эксплуатации необходимо не просто повышение твёрдости поверхности трения, но, главным образом, сохранение маслостойкого микрорельефа, свойственного структуре серого чугуна на перлитной основе [3].

Допустимый предельный износ втулки составляет 0,5-0,8% ее диаметра, а эллиптичность – не более 1% диаметра, после чего втулка подлежит замене. С учётом величины эксплуатационного износа и припуска на финишную механическую обработку определены режимы лазерной обработки, приемлемые для упрочнения рабочей поверхности втулок главных судовых дизелей. Структура обработанной поверхности наряду с твёрдыми составляющими – карбидной эвтектикой и мартенситом, должна содержать участки графита.

При решении задачи определения параметров обработки в численном виде расчетную область приняли за плоское полубесконечное тело. Источник энергии, с заданной геометрией перемещается в положительном направлении оси  $x$ . На остальной части поверхности задаётся условие адиабатической стенки (рисунок 1).

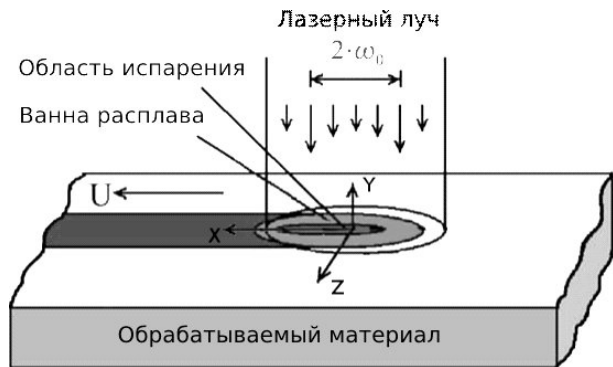


Рисунок 1 – Схема процесса лазерной поверхностной обработки пластины

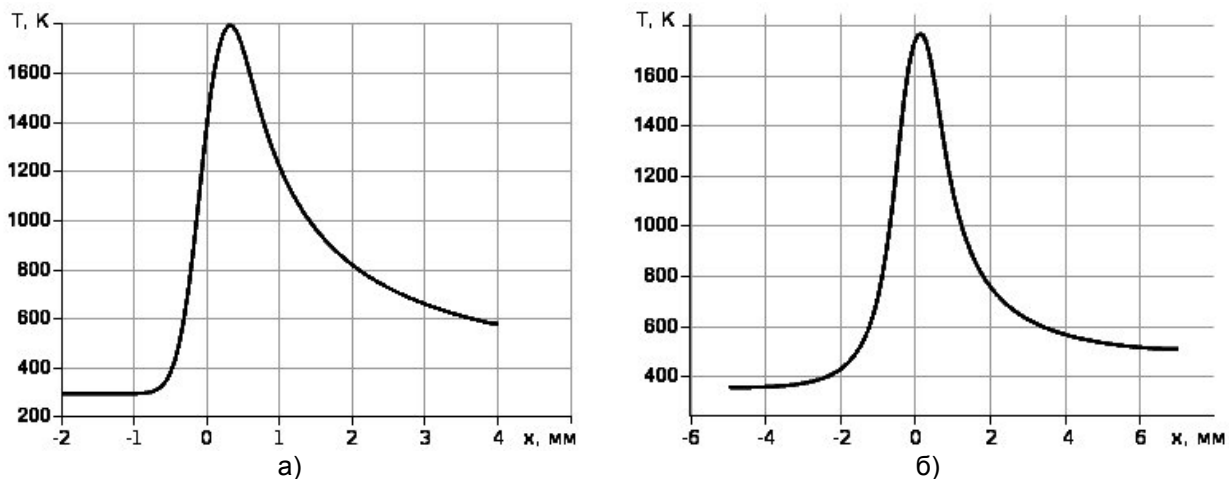


Рисунок 2 – Расчетный график температуры, построенный в направлении подачи на глубине 100 мкм при скорости обработки 20 мм/с (а) и на глубине 300 мкм при – 9 мм/с (б)

Цель расчетов – вычислить такие скорости подачи относительно луча, которые в установившемся процессе обработки обеспечат на глубине 100 и 300 мкм температуру 1500 °С.

Расчётами установлено, что для прогрева заготовки из серого чугуна лазерным излучением мощностью 1 кВт с диаметром пучка 1 мм до температуры 1773 К (1500 °С) на глубине 100 мкм и 300 мкм необходимы скорости перемещения заготовки относительно луча 20 и 0,9 см/с соответственно.

На рисунке 2 приведены графики распределения температуры в направлении подачи заготовки.

Для исследования процесса упрочнения поверхности серого чугуна лазерным воздействием были приготовлены образцы, размером 5×24×120 мм, вырезанные из втулки судового дизеля 6ЧРН36/45 с заводской маркой Г60. Какого либо поглощающего покрытия на обрабатываемую поверхность не наносилось. Для обработки поверхности трения был выбран многофункциональный 3 кВт СО<sub>2</sub>-лазер ЛОК-3МФ, работающий в непрерывном режиме генерации [4]. Частота импульсов составляла 50 кГц. Диаметр луча на обрабатываемой поверхности – 0,70 мм, скорость подачи образцов относительно луча изменялась в пределах 12-48 мм/с. Это позволило создавать на поверхности плотность мощности 25-80 кВт/см<sup>2</sup>.

Строение чугуна и распределение температуры при лазерной обработке показано на рисунке 3.

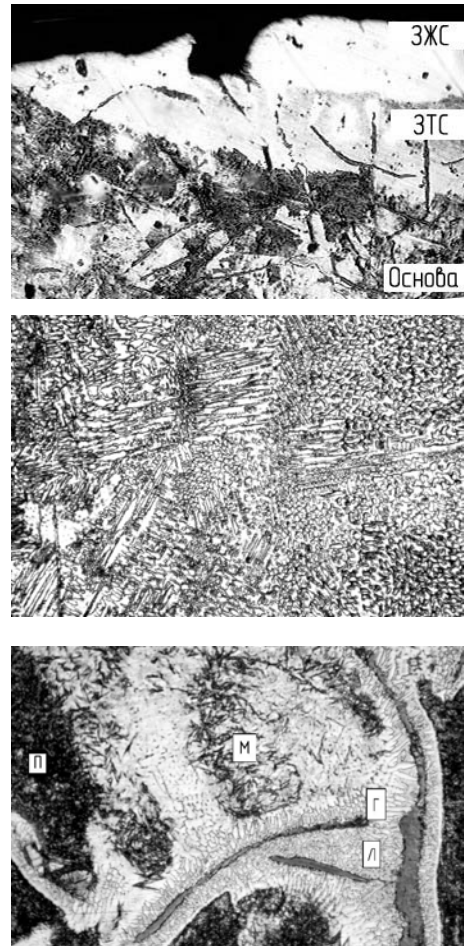
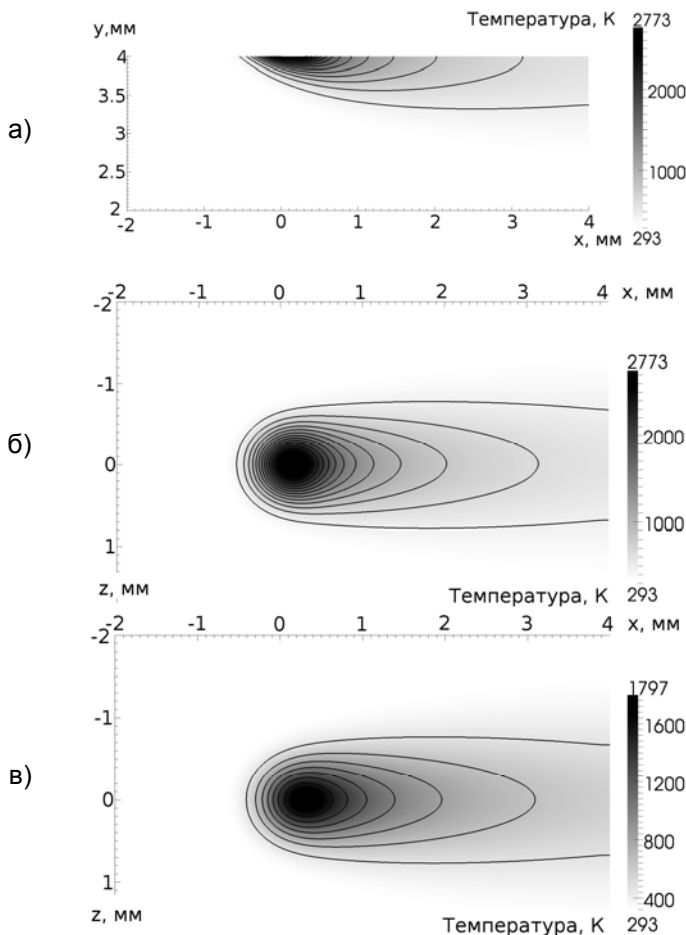


Рисунок 3 – Распределение температуры и микроструктура обработанного лазером чугуна при скорости подачи 20 мм/с: а)-в поперечном сечении; б)-на поверхности; в)-на глубине 100 мкм

После обработки лазерным лучом поверхности чугуна СЧ25 в непрерывном режиме упрочнённый слой представляет собой две характерные зоны. Поверхность чугуна во время обработки разогревается до температур превышающих температуру плавления. При последующем охлаждении за счёт интенсивного теплоотвода в холодную сердцевину образца в этой зоне происходит закалка из жидкого состояния (ЗЖС). Микротвёрдость поверхности, закалённой из жидкого состояния, составляет 6,5-11,0 ГПа (рисунок 4). Более глубокие слои и периферийные участки при нагреве приобретают аустенитную структуру с зонами оплавления вокруг графитовых включений. При последующем охлаждении аустенит закаливается

на мартенсит с твёрдостью 8,5-13,0 ГПа. Зона лазерного влияния, нагреваемая до температур ниже аустенитного превращения, сохраняет исходную структуру и твёрдость.

Глубина закалённых слоёв при прочих неизменных условиях определяется продолжительностью лазерного воздействия [3].

Таким образом, проведённые микроструктурные исследования показали соответствие результатов лазерной термической обработки выводам теплового расчёта.

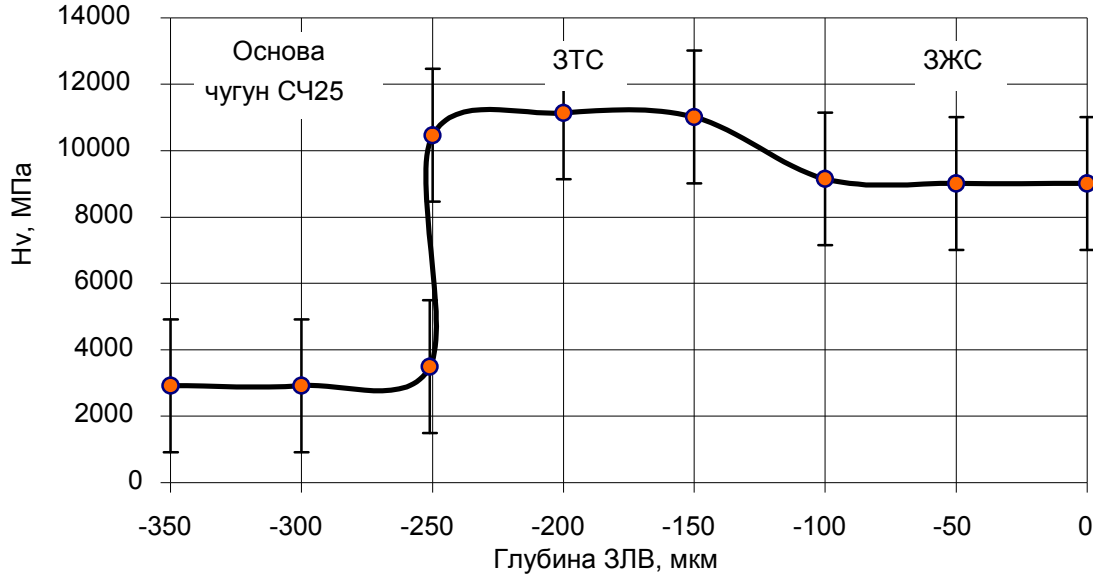


Рисунок 4 – Микротвёрдость серого чугуна СЧ25 после обработки лазерным лучом в непрерывном режиме (поперечное сечение): ЗТС-закалка из твёрдого состояния. ЗЖС-закалка из жидкого состояния

Дальнейшие исследования технологических возможностей лазерной обработки для повышения износостойкости втулок цилиндров проводили, регулируя температурно-временные параметры упрочнения в пределах, обеспечивающих нагрев поверхности до температуры аустенитного состояния с локальным оплавлением зон, прилегающих к графитовым выделениям. Получаемая при такой обработке структура чугуна соответствует принципу Шарпи. Трущаяся поверхность втулки включает структурные составляющие, несущие основные механические нагрузки – карбидную эвтектику и мартенсит, а также графитовые включения, необходимые для образования маслостойкого рельефа в процессе трения. Для получения желаемой структуры предложена схема обработки, представленная на рисунке 5.

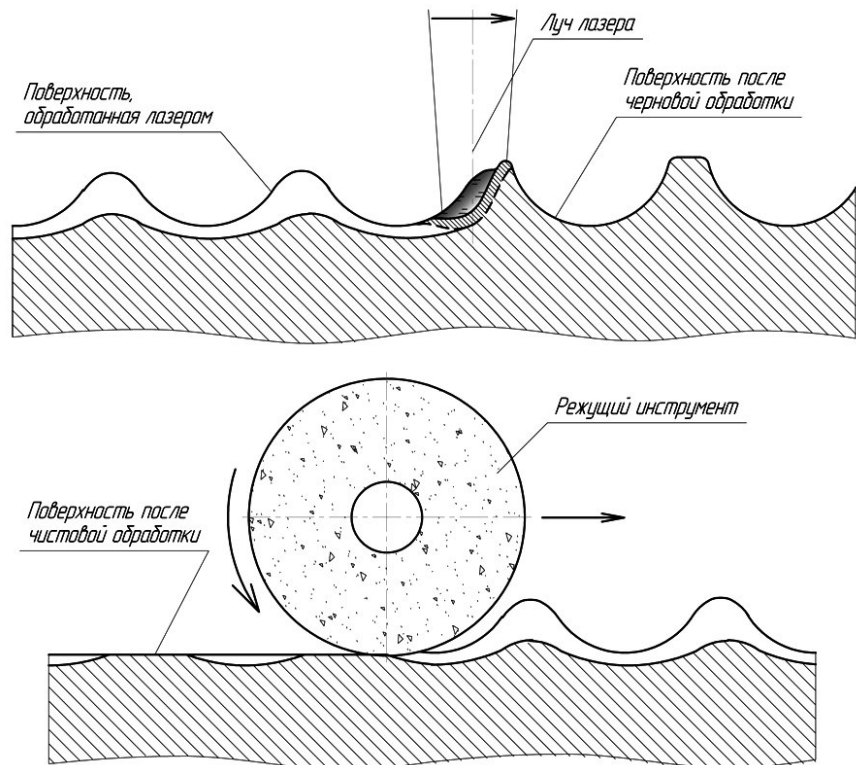


Рисунок 5 – Технологическая схема упрочнения поверхности трения чугуной цилиндрической втулки с применением лазерной закалки

Обрабатывали лазерным лучом рабочую поверхность образцов, вырезанных из цилиндрической втулки двигателя внутреннего сгорания, после чернового растачивания без нанесения поглощающего покрытия. Частота импульсов многофункционального 3 кВт СО<sub>2</sub>-лазер ЛОК-3МФ в непрерывном режиме генерации регулировалась в пределах 50 кГц. Диаметр луча на обрабатываемой поверхности – 0,70 мм, скорость подачи луча – 32 мм/с.

После лазерной обработки образцы шлифовали. При финишной обработке гребни микронеровностей срезаются до обнажения исходной структуры. На поверхности остаются зоны упрочнённые лазером в виде полос, шириной 50-60 мкм, расположенных спирально с шагом, равным величине подачи чернового растачивания – 0,2 мм.

Износостойкость образцов оценивали при испытании на машине трения МИ-1 по схеме «диск-колодка» при смазке маслом М14В<sub>2</sub> ГОСТ 12337-84. Установлено, что коэффициент трения снизился с 0,006 для серого чугуна до 0,004 после лазерной обработки. Скорость изнашивания сократилась десятикратно. Это обусловлено образованием в процессе взаимодействия трущихся пар микрорельефа поверхности, включающего капиллярные каналы, аккумулирующие смазку по местам расположения графита, и твёрдую составляющую – цементитную и мартенситную фазы, окружающие эти микроканавки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ри, Х. Комплексно-легированные чугуны специального назначения / Х. Ри, Э.Х. Ри. -Владивосток: Дальнаука, 2000. - 286 с.
- 2 Майоров, В.С. Закалка чугунных деталей излучением твердотельного лазера / В.С. Майоров, С.В. Майоров // Металловедение и термич. обработка металлов. -2009. -№3(645). -С. 6-8.
- 3 Исследование формирования структуры рабочей поверхности цилиндров втулок судовых дизелей при лазерной обработке / Л.Д. Макагон [и др.] // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2006. -№1. -С. 194-198.
- 4 Multifunctional 3 kW CO<sub>2</sub> laser with controllable spectral and temporal characteristics for industrial and scientific applications / G.N. Grachev, A.G. Ponomarenko, A.L. Smirnov, V.B. Shulyat'ev // SPIE selected papers. -2000. -Vol. 4165. -P. 185-196.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *триботехнические характеристики серого чугуна, лазерная обработка, микроструктура по принципу Шарпи*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Токарев Александр Олегович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Иванчик Сергей Николаевич, старший преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Макагон Любовь Дмитриевна, старший преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Иванчик Илья Сергеевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Гуринов Алексей Михайлович, аспирант ФБОУ ИТПМ СО РАН*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Шетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1, ФБОУ ИТПМ СО РАН*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ**

**ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»**

**Н.С. Ткаленко**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MAIN METHODS OF ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF ROLLING BEARINGS**  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
N.S. Tkalenko

The article presents a comparative analysis of the main methods of vibroacoustic diagnostics used to assess the technical condition of rolling bearings that improve the reliability of ship equipment.

*Keywords: rolling bearings, peak factor, shock pulses, spectrum of vibration signal, spectrum envelope, Fourier analysis, wavelet analysis*

Выполнен сравнительный анализ основных методов виброакустической диагностики используемых для оценки технического состояния подшипников качения, позволяющих повысить надежность судового оборудования.

Комплексные показатели надежности и технико-экономической эффективности современного судна в значительной степени зависят от надежности судовой энергетической установки. Повышение надежности судового оборудования связано с улучшением трех основных составляющих этого показателя качества: безотказности, ремонтпригодности и долговечности. Оценка технического состояния машин и степени опасности повреждения на основе данных контроля вибрации – один из наиболее эффективных методов повышения надежности оборудования. Ресурс основной части судового оборудования определяется в ос-

новном ресурсом подшипников качения. Подшипники, к тому же, являются критическим элементом двигателя. Подшипники наилучшее место для измерения вибрации оборудования, так как именно в этих местах прикладываются основные динамические нагрузки и усилия [4]. Из-за отсутствия доступа к подшипниковым узлам во время эксплуатации большое внимание уделяется методам без разборной диагностики, в первую очередь виброакустическим, тем более что надежность работы подшипников качения зависит от их вибрационного состояния и точности изготовления [1]. Для оценки технического состояния подшипников качения в практике используются следующие основные методы: ударных импульсов, пик-фактора, по спектру вибросигнала, по спектру огибающей.

**Метод ударных импульсов.** Основан на измерении и регистрации механических ударных волн, вызванных столкновением двух тел. Ускорение частиц материала в точке удара вызывает волну сжатия, которая распределяется в виде ультразвуковых колебаний. Для измерения ударных импульсов используется пьезоэлектрический датчик, на который не оказывает влияние фон вибрации и шум.

*Достоинства:* отсутствие требований к периодичности следования ударных импульсов. Это позволяет обнаруживать, с одной стороны, зарождающиеся дефекты смазки, при которых разрывы масляной пленки происходят редко и нерегулярно, а, с другой стороны, механические дефекты подшипника на нестабильных частотах вращения, причем за короткое время, определяемое 2-3 оборотами ротора. Результаты измерений очень легко нормировать по скорости соударения, зная геометрию подшипника и его обороты.

*Недостатки:* не все зарождающиеся дефекты подшипника качения приводят к появлению ударных импульсов, и достаточно часто дефектный подшипник обнаруживается лишь незадолго до отказа, когда в нем развивается цепочка связанных дефектов, один или несколько из которых становятся источником ударных импульсов. Еще один недостаток – отсутствие информации о виде дефекта, без которой практически невозможно давать долгосрочный прогноз состояния, так как минимальный временной интервал от зарождения дефекта до отказа нормально работающего подшипника в зависимости от вида дефекта может составлять от нескольких месяцев до нескольких лет. Не менее важным недостатком можно считать сложность применения метода для контроля состояния низкооборотных подшипников (ниже 50-100 мин<sup>-1</sup>), когда в масляной пленке даже бездефектных подшипников появляются частые разрывы и, как следствие, возникают ударные импульсы. При использовании метода ударных импульсов для контроля состояния подшипников качения измерения необходимо производить достаточно часто, не реже раза в неделю. Кроме этого контроль состояния подшипника методом ударных импульсов должен дополняться контролем мощности высокочастотной вибрации, чтобы не пропустить той стадии развития дефектов, когда количество ударных импульсов в единицу времени резко возрастает. Таким образом, в практической диагностике метод ударных импульсов используется не автономно, а в совокупности с методом контроля мощности высокочастотной вибрации [2, 5].

**Метод ПИК-фактора.** Для контроля технического состояния подшипников по данному методу необходимо иметь простой виброметр, позволяющий измерять два параметра вибросигнала: среднеквадратичное значение уровня (СКЗ) вибрации, то есть энергию вибрации; пиковую амплитуду (ПИК) вибрации (положительную, отрицательную или полный размах – значения не имеет). Отношение двух этих параметров ПИК/СКЗ, называется ПИК-фактором. Экспериментально было установлено, что момент прохода функции ПИК-фактор через максимум соответствует остаточному ресурсу подшипника порядка 2-3 недель.

*Достоинства:* простота. Для реализации нужен обычный виброметр общего уровня.

*Недостатки:* слабая помехозащищенность метода и необходимость проводить многократные измерения в процессе эксплуатации. Установить датчик непосредственно на наружной обойме подшипника практически невозможно, поэтому сигнал вибрации характеризует не только подшипник, но и другие узлы механизма, что в данном случае рассматривается как помехи. Чем дальше установлен датчик от подшипника и сложнее кинематика самого механизма, тем меньше достоверность метода. Получить оценку состояния по одному замеру невозможно [2, 5].

**Спектр вибросигнала.** Для контроля за техническим состоянием подшипников по данному методу необходим анализатор спектра вибрации (виброанализатор). Метод базируется на анализе спектра вибрации. Каждому дефекту на элементах подшипника (тела качения, внутреннее и наружное кольцо, сепаратор), соответствуют свои частоты, которые зависят от кинематики подшипника и скорости его вращения. Наличие той или иной частотной состав-



ляющей в спектре сигнала говорит о возникновении соответствующего дефекта, а амплитуда этой составляющей – о глубине дефекта.

*Достоинства:* высокая помехозащищённость (маловероятно наличие в механизме источников, создающих вибрации на тех же частотах, что и дефекты подшипника); высокая информативность метода. Возможна оценка состояния элементов подшипника (тел качения, внутреннего и наружного кольца, сепаратора), поскольку они генерируют разные частотные ряды в спектре.

*Недостатки:* метод дорогостоящий, если виброанализатор использовать только для контроля подшипников; метод малочувствителен к зарождающимся и слабым дефектам в связи с тем, что подшипники в большинстве случаев является маломощными источниками вибрации. Небольшой скол на шарике или дорожке не в состоянии заметно качнуть механизм, чтобы мы увидели эту частотную составляющую в спектре. И только при достаточно сильных дефектах амплитуды этих частотных составляющих начинают заметно выделяться в спектре [2, 5].

**Метод спектра огибающей.** Метод базируется на анализе высокочастотной составляющей вибрации и выявлении модулирующих ее низкочастотных сигналов. Установлено, что наилучшие результаты метод даёт в том случае, если анализировать модуляцию не широкополосного сигнала, получаемого от акселерометра, а предварительно осуществить узкополосную фильтрацию сигнала, выбрать основную (несущую) частоту в диапазоне от 4 до 32 кГц и анализировать модуляцию этого сигнала. Для этого отфильтрованный сигнал детектируется, то есть выделяется модулирующий сигнал, который подаётся на узкополосный виброанализатор и мы получаем спектр интересующего нас модулирующего сигнала или спектр огибающей.

*Достоинства:* во-первых, метод огибающей использует результаты измерения вибрации в более низкой области частот, чем метод ударных импульсов и, как следствие, точка контроля вибрации может быть несколько удалена от неподвижного кольца подшипника и выбирается, например, на корпусе подшипникового узла. Во-вторых, спектральный анализ огибающей позволяет обнаруживать в подшипнике качения зарождающиеся дефекты не только поверхностей качения, но и скольжения, в частности сепаратора. Обнаружение и идентификация (определение вида) всех дефектов является основой долгосрочного прогноза состояния подшипника и перехода с интервалов между измерениями порядка нескольких дней на интервалы до нескольких (3-6) месяцев. В третьих, появляется возможность диагностировать низкооборотные подшипники, в которых даже при нормальной работе возникают ударные импульсы. В четвертых, те дефекты, которые приводят к разрыву масляной пленки и появлению ударных импульсов, могут обнаруживаться еще до того, как величина дефекта будет достаточна для разрыва масляной пленки и возникновения ударных импульсов.

*Недостатки:* первый заключается в том, что на этапе зарождения с высокой достоверностью обнаруживаются все дефекты подшипника качения, кроме одного - дефекта смазки, так как достаточно часто на начальном этапе развития дефектов смазки разрывы масляной пленки могут быть нерегулярными, а спектральный анализ огибающей нечувствителен к непериодическим изменениям мощности высокочастотной вибрации. Вторым недостатком может считаться необходимость длительного накопления сигнала в течение 50-100 оборотов подшипника против 2-3 оборотов при использовании метода ударных импульсов, причем частота вращения за это время не должна меняться более, чем на 1-2%. Третий недостаток – разная чувствительность метода к дефектам неподвижного кольца подшипника, тел качения, сепаратора и подвижного кольца, так как на пути распространения высокочастотной вибрации в зависимости от вида дефекта либо нет ни одной переходной поверхности со слоем смазки, либо такая поверхность одна (для дефектов тел качения), либо две (для дефектов вращающегося кольца и сепаратора). Как следствие, пороги опасных дефектов для разных групп дефектов будут различаться и зависеть, в частности, от скорости движения тел качения по дорожкам качения. Четвертый недостаток, который является общим для всех чувствительных методов диагностики по высокочастотной вибрации, заключается в том, что при наличии нескольких сильных дефектов по мере их дальнейшего развития чувствительность метода падает. Для того, чтобы компенсировать этот недостаток, параллельно спектру огибающей высокочастотной вибрации в современных системах диагностики контроль за наличием сильных дефектов осуществляется по спектру низкочастотной и среднечастотной вибрации подшипникового узла, измеряемой в направлении действия статической нагрузки на подшипник [2, 5, 6].



Можно отметить тот факт, что большинство разработанных методов, базирующихся на Фурье-анализе, применяется к идеализированным численным моделям. Использование на практике подобных методов ограничено. Связано это, прежде всего с тем, что ошибки в результаты вносят внешние факторы – шумы в сигнале, а также ряд ограничений Фурье преобразований: невозможность идентификации нелинейного поведения во времени и невозможность идентификации переходных процессов.

Толчок к дальнейшему развитию методов вибрационной диагностики дало внедрение вейвлет-анализа. Вейвлеты – функции в виде коротких волн с нулевым интегральным значением и с локализацией по оси независимой переменной, способных к сдвигу по этой оси и масштабированию (растяжению/сжатию) [7]. За счет изменения масштаба вейвлеты способны выявлять различия в характеристиках на разных шкалах (частотах), а за счет сдвига – анализировать свойства сигнала в разных точках на всем исследуемом интервале. Вейвлет-анализ – частотно-временной анализ, который дает более детальную информацию, нежели традиционный Фурье-анализ и его применение позволяет получить более достоверные результаты [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Ф.Я. Балицкий, М.А. Иванова, А.Г. Соколова, Е.И. Хомяков. -М.: Наука, 1984.
- 2 Барков, А.В. Интеллектуальные системы мониторинга и диагностики машин по вибрации / А.В. Барков, Н.А. Баркова // Тр. Петербург. энергет. ин-та повышения квалификации Минтопэнерго Рос. Федерации и Ин-та вибрации США. -СПб., 1999. - Вып. 9.
- 3 Глушков, С.П. Методы идентификации повреждений в мостовых конструкциях на основе анализа их колебательных процессов / С.П. Глушков, Л.Ю. Соловьев, Н.А. Донец // Вестн. Том. архитектур.-строит. ун-та. -Томск, 2011. -Вып. 4(33).
- 4 Коллакот, Р.Я. Диагностирование механического оборудования / Р.А. Коллакот. -Л.: Судостроение, 1980.
- 5 Мынцов, А.А. Применение метода огибающей для диагностики механических узлов оборудования / А.А. Мынцов. -2004.
- 6 Русов, В.А. Спектральная вибродиагностика / В.А. Русов. -М.: Машиностроение, 1996.
- 7 Daubechies, I. Ten Lectures on wavelets / I. Daubechies. -Philadelphia: SIAM, 1992.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *подшипники качения, пик фактор, ударные импульсы, спектр вибросигнала, спектр огибающих, Фурье-анализ, вейвлет-анализ*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Ткаленко Наталья Сергеевна, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## **ОБ УСТАНОВЛЕНИИ ВЗАИМОСВЯЗИ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА ПРИ ОТНОСИТЕЛЬНО БОЛЬШИХ ДЛИНАХ ТРЕЩИН В УСЛОВИЯХ ВНЕЦЕНТРЕННОГО РАСТЯЖЕНИЯ**

**«Кыргызский государственный технический университет  
им. И. Раззакова»  
ООО «АвиаТехСнаб»**

**Ю.В. Сапрыкин, В.В. Костин, Т.Б. Дуйшеналиев**

**ABOUT AN ESTABLISHMENT OF INTERRELATION POWER PARAMETRES LIMITING CONDITION OF A MATERIAL AT RATHER BIG LENGTHS OF CRACKS CONDITIONS ECCENTRIC STRETCHING**

**«Kirghiz state technical university named I. Razzakov»**

**«AviaTechSupply»**

Yu.V. Saprykin, V.V. Kostin, T.B. Dujshenaliev

This work is arraged ways of comparison materials on sensitivity cracks concerning the big lengths and possibility to forecasting critical values of the power parametres that supervising achievement of a limiting condition in constructional steels with cracks in conditions of a eccentric stretching.

*Keywords: crack, fracture strength, viscosity of destruction*

Установлены способы сравнения материалов по чувствительности к трещинам относительно больших длин и возможность прогнозирования критических значений силовых параметров, контролирующих достижение предельного состояния в конструкционных сталях с трещинами в условиях внецентренного растяжения.

Диаграммы предельного состояния (ДПС) [1] для материалов, в которых не исключены конструктивные и технологические концентраторы напряжений (выточки, поры, неметаллические включения, трещины и т.п.) имеют научно-практическое значение, так как позволяет исследовать работоспособность реальных материалов с дефектами типа трещин и чувствительность к ним, сопоставлять материалы по трещиностойкости и вязкости, а так же произ-

водить инспектирование аварийных разрушений с установлением критических величин таких силовых параметров, как коэффициент интенсивности напряжений  $K_c$  ( $K_{Ic}$ ), разрушающая нагрузка  $P_c$  и напряжение  $\sigma_{H^*}^{(CHC)}$  на границе сильно напряженной части ослабленного сечения (CHC – сечение [2]).

Типичная ДПС для условий внецентренного (левая часть) и совмещенного (внецентренного и осевого) растяжения (правая часть) представлена на рисунке 1. Как видно из рисунка 1, левая часть ДПС « $K_c - \sigma_{H^*}^{(CHC)}$ », отвечающая относительно большим длинам (1) трещин ( $0,3 < l/B \leq 0,7$ ; где  $B$  – ширина образца), имеет прямолинейный, участок «ab», отражающий характер изменения критической интенсивности напряжений  $K_c$  в указанном интервале значений  $l/B$ . Видно, что с увеличением  $l/B$  значения параметра  $K_c$  уменьшаются с  $K_c^{min}$  при  $l/B = 0,3$  (точка «b») до  $K_c^{min}$  при  $l/B = 0,7$  (точка «a») по прямой «ab».

Если прямую «ab» продолжить до пересечения с осью ординат (рисунок 1), то можно установить параметр  $K_{c0}$ . Величину  $K_{c0}$  можно принять за нижнее предельное значение  $K_c$  (для данного образца и материала), которое могло бы быть получено, если бы размер нетто-сечения (по ширине  $B$ ) был достаточно большим. Введение параметра  $K_{c0}$  позволяет выразить взаимосвязь двух силовых параметров –  $K_{ci}$  и  $\sigma_{H^*i}^{(CHC)}$  на участке «ab» диаграммы (при длинах трещин  $0,3 \leq l/B \leq 0,7$ ) в виде следующего уравнения (рисунок 1)

$$K_{ci} = \frac{\sigma_{H^*i}^{(CHC)} \Delta K_{c0}}{\sigma_{H(min)}^{(CHC)}} + K_{c0}; \quad (1)$$

$$\Delta K_{c0} = K_c^{min} - K_{c0},$$

где  $\sigma_{H(min)}^{(CHC)}$  – минимальная величина нетто-напряжения  $\sigma_{H^*}^{(CHC)}$ , отвечающая  $K_c^{min}$  при  $l/B = 0,7$ ;

$\sigma_{H^*i}^{(CHC)}$  – критическое напряжение  $\sigma_H$  на границе CHC-сечения при конкретной  $l_i/B$ .

Наблюдаемое при относительно больших трещинах снижение  $K_c$  с ростом  $l/B$  (рисунок 1) может быть следствием, как недостаточности нетто-сечения, так и влияния длины трещины на вязкость и сопротивляемость материала разрушению. Вместе с тем превалирующее влияние ограниченного нетто-сечения на  $K_c$  явно наблюдается лишь при предельно больших длинах трещин ( $l/B > 0,7$ ), на участке предельной кривой «oa» (рисунок 1), который отличается от предыдущего «ab» большей крутизной.

С учетом этого основной целью настоящей работы явилось исследование интенсивности изменения  $K_c$  в диапазоне относительно больших длин трещин в зависимости от уровня прочности конструкционной стали и размеров образцов.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Исследования были выполнены на компактных (призматических) образцах для внецентренного растяжения с исходными усталостными трещинами (в соответствии со Стандартом РФ [3]) из сталей разного уровня прочности (таблица 1).

Анализ изменения протяженности интервалов  $K_c^{max} - K_c^{min}$  и углов наклона участков «ab» к оси абсцисс при длинах трещин

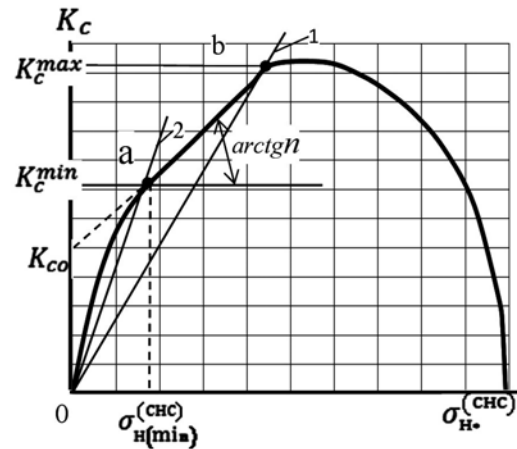


Рисунок 1 – Типичная диаграмма предельного состояния материала в условиях совмещенного осевого (при  $l/B > 0,25$ ) и внецентренного (при  $l/B > 0,3$ ) растяжения компактных образцов с трещинами разных относительных длин  $l/B$ : 1- $l/B = 0,3$ ; 2- $l/B = 0,7$ ;  $\sigma_{H^*}^{(CHC)}$  – критические значения напряжения  $\sigma_H$  на границе сильно напряженной (CHC) части нетто-сечения [2] при конкретных  $l/B$  и предельных  $K = K_c$

Таблица 1 – Механические свойства исследованных сталей при температуре 20 °С

Сталь	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_s$ , МПа	$\delta$ , %	$K_{Ic}$ , кг/мм <sup>3/2</sup>
20	264	423	37,0	275
06Г2АФ	500	600	23,5	252
14Х2ГМРЮЧ	898	962	14,5	221
40ХН2СВА	1780	1900	12,0	180

$0,3 \leq l/B \leq 0,7$  показал (рисунок 2), что при одинаковых по форме и ширине ( $B$ ) компактных образцах для сталей разного уровня прочности абсолютные величины  $\Delta K = K_c^{\max} - K_c^{\min}$  и углы наклона участков «ab» к оси абсцисс различные: чем выше уровень прочности стали, тем больше  $\Delta K$  и крутизна «ab». При этом важно отметить, что не только относительные, но и абсолютные длины трещин, соответствующие границам рассматриваемого интервала, одни и те же, так как  $B = \text{Const}$ .

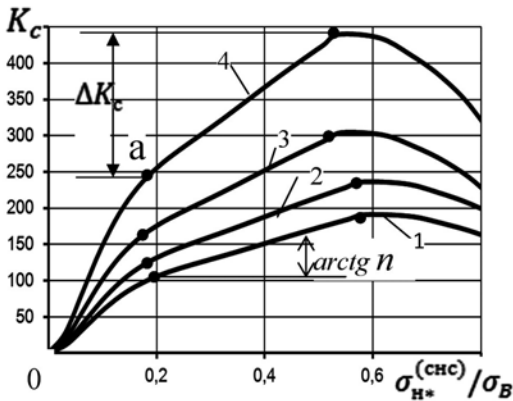


Рисунок 2 – Сопоставление кривых предельного состояния сталей с трещинами относительно больших длин ( $0,3 < l/B < 0,7$ ): 1-20; 2-06Г2АФ; 3-14Х2ГМРЮЧ; 4-40ХН2СВА (ширина компактных образцов  $B = 40$  мм)

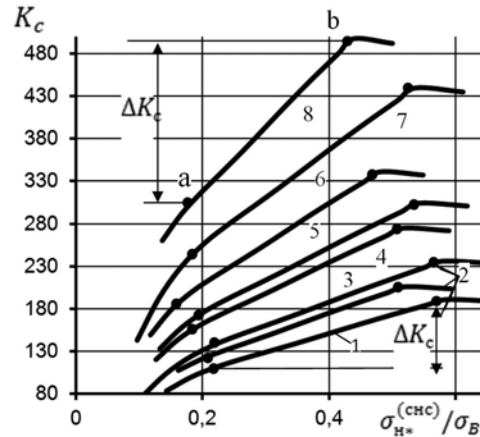


Рисунок 3 – Участки «ab» кривых предельного состояния сталей разного уровня прочности (компактные образцы шириной  $B = 40$  мм (1, 3, 5, 7) и  $B = 80$  мм (2, 4, 6, 8) с трещинами относительно больших длин  $0,3 \leq l/B \leq 0,7$ ): 1,2-20 ( $\sigma_s = 423$  МПа); 3,4-06Г2АФ ( $\sigma_s = 600$  МПа); 5,6-14Х2ГМРЮЧ ( $\sigma_s = 962$  МПа); 7,8-40ХН2СВА ( $\sigma_s = 1900$  МПа)

Снижение  $K_c$  с уровня  $K_c^{\max}$  (при  $l/B = 0,3$ ) до  $K_c^{\min}$  (при  $l/B = 0,7$ ) на большую величину  $\Delta K$  и повышение крутизны диаграмм на отрезках «ab» для сталей с более высоким пределом прочности  $\sigma_B$  явно свидетельствует о большей чувствительности этих сталей (по параметру  $K_c$ ) к изменению исходной длины трещины  $l$  и разрушающей нагрузке  $P_c$ .

В этой связи представляет интерес применение эмпирического числа «n», отвечающего тангенсу угла наклона участка «ab» к оси абсцисс (см. рисунок 1), для сравнительной оценки чувствительности к трещинам сталей разного структурного класса и уровня прочности.

На рисунке 3 сопоставлены фрагменты диаграммных линий (только в пределах участков «ab») для сталей 20; 06Г2АФ; 14Х2ГМРЮЧ и 40ХН2СВА, полученные расчетным путем для компактных образцов разной ширины ( $B = 40$  и  $80$  мм) с исходными усталостными трещинами относительно больших длин  $0,3 \leq l/B \leq 0,7$ . Видно, что большим значениям  $\sigma_s$  и « $B$ » соответствуют и большие величины  $\Delta K$  и « $n$ ». Однако, такого сопоставления еще недостаточно для однозначного установления величины параметра « $n$ », которая зависит от масштаба диаграмм (по осям координат). Для этого требуется преобразование силовых параметров предельного состояния –  $K_c$  и  $\sigma_H^{(CHC)}$  в безразмерные величины и выражения их взаимосвязи (в виде диаграмм рисунок 1 и 2) в единых по масштабу координатах.

Представить параметр  $K_c$ , как и  $\sigma_H^{(CHC)} / \sigma_B$ , безразмерной величиной, можно, например, путем приведения  $K_c$  к наименьшему из максимальных значений  $K_c \rightarrow (K_c^{\max})_{\min}$  при  $l/B = 0,3$  для одной из самых низкопрочных сталей (в нашем случае таковой является сталь 20). То есть

$$CK_{ci} / (K_c^{\max})_{\min}, \quad (2)$$

где  $K_{ci}$  – совокупность значений  $K$ , отвечающих интервалу относительных длин трещин  $0,3 \leq l/B \leq 0,7$ ;

$(K_c^{\max})_{\min}$  – наименьшее из максимальных  $K_c^{\max}$ , которое соответствует стали 20 при  $l/B = 0,3$  и заданной ширине образца  $B$ ;

C – постоянное число, равное 0,5.

На рисунке 4 представлены (в одном масштабе) приведенные по (2) безразмерные величины критических параметров  $K_{ci}$  для разных сталей во взаимосвязи с  $\sigma_{H^*}^{(CHC)}/\sigma_B$ . Здесь за  $\sigma_e$  принято максимальное разрушающее брутто-напряжение  $\sigma_c^{max}$  в пределах СНС-сечения при условии отсутствия в образце трещины.

Это позволяет однозначно оценить величины  $\Delta K$  и «n». Поскольку, как отмечалось выше, изменение  $\Delta K$  и «n» адекватно изменению чувствительности материала к трещине, то результаты такого исследования должны представлять интерес при сравнительной оценке по работоспособности материалов в присутствии трещин и ресурсу их вязкости разрушения [5]. Результаты исследований «n» для сталей с разным  $\sigma_e$ , представлены в таблице 2 и на рис.5. Видно, что с повышением  $\sigma_e$  число «n» увеличивается, причем более интенсивно для низко- и среднепрочных сталей. Таким образом, на разных по структуре и прочности сталях, подтверждается тот факт, что с ростом  $\sigma_e$  чувствительность стали к трещинам возрастает, что вполне объяснимо реализацией на фронте трещины более жесткого напряженного состояния.

Исследование взаимосвязи силовых параметров  $K_{ci}$   $\sigma_{H^*}^{(CHC)}$  и, контролирующего разрушение, с использованием эмпирического числа «n» позволило установить следующее соотношение этих величин (при  $l/B = 0,5$ )

$$K_{c(0.5)}^* = \frac{\sigma_{H^*}^{(CHC)} \sqrt{B}}{n} + \Delta, \quad (3)$$

где  $B$  – ширина компактного образца;

$\Delta$  – эмпирическое число, зависящее от «n»:

- при  $n = 1$ ,  $\Delta = 0$ ;
- при  $n < 1$ ,  $\Delta = 0,33(1 - n)$ ;
- при  $n > 1$ ,  $\Delta = -0,33(n - 1)$ .

Таблица 2 – Сопоставление предельных значений коэффициента интенсивности напряжений  $K_c$ , установленных по уточненной авторами [2] стандартной формуле (4) и по эмпирической зависимости (3), а так же значений параметров  $\lambda$  и  $n$  для сталей разного уровня прочности (компактные образцы шириной  $B = 40$  мм – числитель  $B = 80$  мм – знаменатель)

Сталь	$\sigma_e$ , МПа	$\lambda$	$n$	$\sigma_{H(0.5)}^{(CHC)}$ , МПа по (6)	$K_{c(0.5)}$ , кг/мм <sup>3/2</sup> по (4)	$K_{c(0.5)}$ , кг/мм <sup>3/2</sup> по (3)	Расхождения по $K_{c(0.5)}$ , %
20	423	0,58/0,48	0,563/0,639	169/150	150/175	151/178	1,0/1,2
06Г2АФ	600	0,51/0,42	0,69/0,797	238/212	187/218	190/220	1,4/1,0
14Х2ГМРЮЧ	962	0,41/0,33	0,95/1,062	357/317	241/270	242/272	0,3/0,6
40ХН2СФА	1900	0,3/0,24	1,389/1,393	697/593	348/378	350/381	0,5/0,8

В таблице 2 представлены также критические значения  $K_{c(0.5)}$ , полученные по стандартной формуле [3] (для  $l/B = 0,5$ ):

$$\begin{cases} K_{c(0.5)} = \frac{P_c t}{Y \sqrt{B}}; \\ P_c = \lambda \sigma_B t \frac{(B-l)^2}{2B+l}, \end{cases} \quad (4)$$

где  $K_{c(0.5)}$  – критическое значение коэффициента  $K$  при относительной длине трещины  $l/B = 0,5$ ;

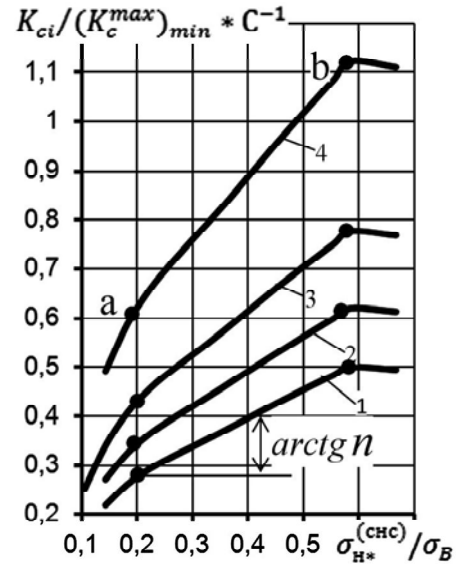


Рисунок 4 – Участки «ab» кривых предельного состояния разных сталей с трещинами  $0,3 < l/B < 0,7$  представленные в едином масштабе безразмерных величин параметров  $K_c$  и  $\sigma_H^{(CHC)}$  (при  $B = 40$  мм): 1-20; 2-06Г2АФ; 3-14Х2ГМРЮЧ; 4-40ХН2СФА

$\lambda$  – безразмерный коэффициент, учитывающий расхождение расчетной  $P_c$  и экспериментальной  $P_c$ . величин разрушающей нагрузки ( $\lambda$  определялся на основе зависимостей  $\lambda = f(t/B)$  установленных в [4]).

Ранее в [1] было установлено, что

$$K_{c(0.5)} = \lambda \sigma_B \sqrt{B}. \quad (5)$$

Из (2) и (4) имеем (при  $l/B = 0,5$ )

$$n + \Delta = \sigma_{H(0.5)}^{(CHC)} / \lambda \sigma_B. \quad (6)$$

Располагая эмпирическими зависимостями «n» от  $\sigma_B$  (рисунок 5), а так же параметра  $\lambda$  от «B» и «t/B» [4], можно сравнивать конструкционные стали по чувствительности к трещине (при  $l/B = 0,5$ ) и определять критические параметры предельного состояния ( $K_c$ ,  $\sigma_H^{(CHC)}$ ) без проведения трудоемких механических испытаний образцов с трещинами и без построения диаграмм предельных состояний. Используя эмпирические соотношения (4) и (5) и указанные выше зависимости (рисунок 5 и рисунок 1 [4]), можно устанавливать параметры, контролирующие трещиностойкость и вязкость материала:

– критический параметр

$$K_{c(0.5)} = \lambda \sigma_B \sqrt{B}; \quad (7)$$

– критическую величину нагрузки [3]

$$P_{c(0.5)} = K_{c(0.5)} t \sqrt{B} / Y_{(0.5)};$$

– безразмерное число «n» (рисунок 5) зависимости  $n = f(\sigma_B, B)$ ;

– критический уровень нетто-напряжения на границе СНС-сечения [1]

$$\sigma_{H(0.5)}^{(CHC)} = K_{c(0.5)} \frac{(n + \Delta)}{\sqrt{B}}, \quad (8)$$

или

$$\sigma_{H(0.5)}^{(CHC)} = (n + \Delta) \lambda \sigma_B, \quad (9)$$

при достижении нагрузки уровня  $P_c$ .;

– протяженности сильно напряженной (СНС) и опасной (ОС) [1; 4] частей ослабленного трещиной сечения (соответственно  $r^{(CHC)}$  и  $r^{(OC)}$ )

$$\sigma_{H^*}^{(CHC)} = \frac{P_{c^*}}{r^{(CHC)} t} \text{ и } \sigma_{H^*}^{(OC)} = \frac{P_{c^*}}{r^{(OC)} t};$$

$$r^{(CHC)} = k_B 0,5(B-l) \text{ и } r^{(OC)} = k_B \beta B \text{ [1];}$$

где  $k_B$  – безразмерный коэффициент, корректирующий размеры (по линии трещины) ОС-сечения ( $r^{(OC)}$ ) и СНС-сечения ( $r^{(CHC)}$ ), установленные расчетным и эмпирическим путем;

– величину разрушающего напряжения  $\sigma_{c0} = \sigma_{H^*}^{(OC)} \leq \sigma_B$  на границе ОС-сечения (на расстоянии  $r^{(OC)}$  от вершины трещины) [1; 2]

$$\sigma_{H^*}^{(OC)} = \frac{\lambda}{k_B} \sigma_B.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Сапрыкин, Ю.В. Диаграммы конструкционной прочности при совмещенном осевом и внецентренном растяжении / Ю.В. Сапрыкин // Изв. КГТУ им. И. Раззакова. -2011. -№22. -С. 11-14.  
 2 Построение диаграммы предельного состояния упругопластического материала с трещинами разных длин при совмещенном осевом и внецентренном растяжении / Т.Б. Дуйшеналиев, В.С. Кулаков, Ю.В. Сапрыкин, В.В. Костин // Труды Международной конференции «Рахматулиевские чтения». -Бишкек, 2011. -С. 219-224.  
 3 ГОСТ 25.506-85. Определение характеристик трещиностойкости при статическом нагружении. -М.: Изд-во стандартов. 1985.  
 4 Влияние размеров компактных образцов на чувствительность материала к трещине при внецентренном растяжении / Ю.В. Сапрыкин, В.С. Кулаков, Т.Б. Дуйшеналиев, В.В. Костин // Изв. КГТУ им. И. Раззакова. -2011. -№23. -С. 108-113.  
 5 О вязкости и трещиностойкости упругопластических материалов / Ю.В. Сапрыкин, В.С. Кулаков, Т.Б. Дуйшеналиев,

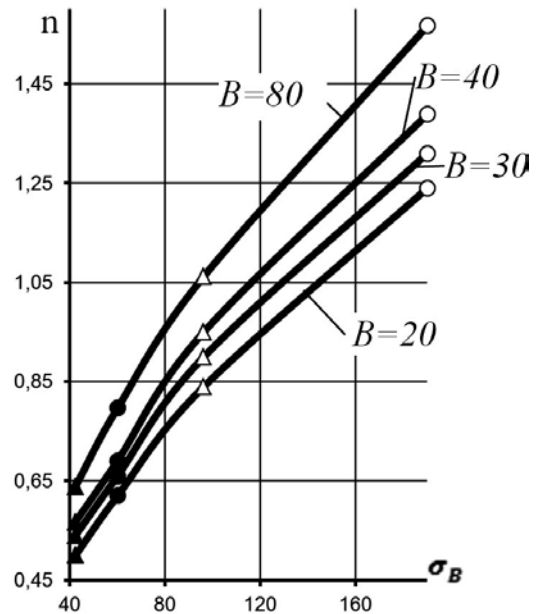


Рисунок 5 – Зависимости числа «n» от предела прочности ( $\sigma_B$ ) исследованных сталей при разных размерах (B) компактных образцов: ▲-20; ●-06Г2АФ; Δ-14Х2ГМРЮЧ; ○-40ХН2СВА

В.В. Костин // Изв. КГТУ им. И. Раззакова. -2011. -№23. -С. 114-119.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** трещина, трещиностойкость, вязкость разрушения  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Сапрыкин Юрий Васильевич канд. техн. наук, профессор КГТУ им. им. И. Раззакова  
Костин Владимир Викторович, президент ООО «АвиаТехСнаб»  
Дуйшеналиев Туратбек Болотбекович, докт. физ.-мат. наук, профессор, ректор КГТУ им.  
им. И. Раззакова  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 720044, Кыргызстан, г. Бишкек, пр. Мира, 66, КГТУ им. им. И. Раззакова  
630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Большевикская, 131, ООО «АвиаТехСнаб»

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ СИЛЬНОНАПРЯЖЕННЫХ ЗОН В ОСЛАБЛЕННОМ ТРЕЩИНОЙ (НЕТТО) СЕЧЕНИИ ОБРАЗЦА ПРИ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ РАСТЯГИВАЮЩЕЙ НАГРУЗКЕ И ЭКСЦЕНТРИСИТЕТЕ**

«Кыргызский государственный технический университет  
им. И. Раззакова»  
ООО «АвиаТехСнаб»

**Ю.В. Сапрыкин, В.В. Костин, Т.Б. Дуйшеналиев, В.С. Кулаков**

**DELIMITATION STRONGLY STRAINED ZONES IN WEAKENED BY A CRACK (NET) SECTION OF THE SAMPLE AT THE CONCENTRATED STRETCHING LOADING AND ECCENTRIC STRETCHING**

«Kirghiz state technical university named I. Razzakov»

«AviaTechSupply»

Yu.V. Saprykin, V.V. Kostin, T.B. Dujshenaliev, V.S. Kylakov

This work is devote research of critical levels net-pressure on borders of the dangerous and strongly strained zones in the sections of samples weakened by cracks at eccentric stretching.

*Keywords: crack, fracture strength, viscosity of destruction*

Работа посвящена исследованию критических уровней нетто-напряжений на границах опасной и сильно напряженной зон в ослабленных трещинами сечениях образцов при внецентренном растяжении.

Так как при сосредоточенной растягивающей нагрузке и эксцентриситете (внецентренное растяжение) распределение напряжений в сечении с краевой трещиной имеет сложный характер и существенный градиент, в работе [1] было предложено учитывать при разработке диаграмм предельного состояния  $K_c - \sigma_{H^*}^{(CHC)}$  не все нетто-сечение компактного образца, а только сильно напряженную его часть, наиболее эффективно воспринимающую растягивающую нагрузку. Это, «эффективное» нетто-сечение было названо «сильно напряженным» (СНС) сечением. Знание критических значений напряжения  $\sigma_{H^*}^{(CHC)}$  на границе СНС-сечения позволяет устанавливать связь между критическими значениями  $K_c$  и разрушающими нагрузками  $P_c$  в широком диапазоне длин трещин.

В свою очередь, анализ формул (1) и (2) для расчета разрушающих нагрузок (напряжений) [2] позволил выделить в пределах СНС-сечения, в непосредственной близости к трещине, еще одну, наиболее напряженную часть нетто-сечения условно названную «опасным сечением» (ОС-сечение [1]). Однако, расчетные размеры ОС-сечения при относительно больших трещинах ( $0,45 \leq l/B \leq 0,55$ ), предусмотренных Стандартом РФ [2], оказались в два-три раза меньше размеров СНС-сечения, на порядок меньше длин трещин, но почти вдвое больше размеров пластических зон перед трещинами.

Все это, очевидно, не позволяет рассматривать ОС-сечение (при относительно больших трещинах), как сечение, эквивалентное эффективному нетто-сечению (СНС-сечению). Но, как будет показано ниже, располагая данными о размерах ОС-сечений для широкого диапазона длин трещин, можно устанавливать границы применимости ЛМР и контролировать достаточность размеров образцов для корректного определения критических значений  $K_c$ .

При относительно небольших (коротких и малых) трещинах ( $l/B \leq 0,1$ ) размеры ОС-сечений оказываются весьма значительными, приближаются к размерам СНС-сечений и существенно превышают (от нескольких раз, до десятков раз) длины трещин.

Поэтому для таких трещин ОС-сечение (как и СНС-сечение) вполне можно принять за часть ослабленного сечения, эквивалентную эффективному нетто-сечению, и с учетом это-

го, контролировать правомерность применения коэффициента интенсивности  $K_c$  по предельному (для ЛМР) уровню нетто-напряжения на границе ОС-сечения  $\sigma_{H^*}^{(oc)}$  [3]

$$0,8\sigma_T < \sigma_{H^*}^{(oc)} < \sigma_T.$$

Здесь следует отметить, что при  $\sigma_{H^*}^{(oc)} > 0,8\sigma_T$  требуется введение определенных поправок в расчеты на  $K_c$  [4].

Актуальность рассмотренных выше вопросов определила основные задачи данной работы:

– Разработать методику и исследовать размеры ОС-сечений в компактных образцах с относительно большими трещинами ( $0,45 \leq l/B \leq 0,55$ ) из сталей разного уровня прочности.

– Найти способ уточнения размеров СНС-сечений по результатам анализа кривых распределения нетто-напряжений за пределами ОС-сечений в образцах разной ширины.

**Материалы и методика исследований.** Исследования были выполнены на компактных (призматических) образцах для внецентренного растяжения с исходными усталостными трещинами (в соответствии со Стандартом РФ [2]) из сталей разного уровня прочности (таблица 1).

*Таблица 1 – Механические свойства исследованных сталей при температуре 20 °С*

Сталь	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_s$ , МПа	$\delta$ , %	$K_{IC}$ , кг/мм <sup>3/2</sup>
20	264	423	37,0	275
06Г2АФ	500	600	23,5	252
14Х2ГМРЮЧ	898	962	14,5	221
40ХН2СВА	1780	1900	12,0	180

В данной работе для выявления протяженности ОС-сечения в направлении трещины  $r^{(oc)}$  использовали метод хрупких лаковых покрытий. Нужную чувствительность при этом получали путем подбора толщины лакового покрытия. Размер  $r^{(oc)}$  ОС-сечения устанавливали в тот момент, когда трещина подрастала на ~2% от исходной длины. Этот момент уточняли и контролировали путем впрыскивания красителя в раскрывшуюся трещину при достижении нагрузки максимального уровня  $P_c$ . На отшлифованную, отполированную и тщательно обезжиренную боковую поверхность образца наносили тонкие слои (0,05-0,10 мм) лака НЦ-222.

Лаковое покрытие толщиной ~0,05 мм может растрескиваться при таком уровне напряжений, который дает остаточную деформацию не более 0,2%. Однако, этот метод не применим для определения границы СНС-сечения, где уровень напряжений может быть значительно меньше  $\sigma_{0,2}$  (особенно при  $l/B \geq 0,4$ ). В работе [1] был предложен расчетный способ установления размера  $r^{(снс)}$  СНС-сечения с учетом модели квазиупругого распределения напряжений согласно которой, в первом приближении, было принято, что

$$r^{(снс)} \cong 0,5 \left( \frac{B-l}{2} \right),$$

где  $(B-l)/2$  – расстояние  $r_e$  от конца трещины до точки отсчета эксцентриситета нагрузки.

Однако пока не ясно, может ли коэффициент «0,5» в этом уравнении оставаться всегда постоянной величиной.

В этой связи представляет также интерес и поиск другого способа установления параметра  $r^{(снс)}$ , например, по кривым распределения напряжений в нетто-сечениях компактных образцов.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Согласно Стандарту РФ [2] для компактных образцов, испытывающих действие напряжений растяжения и изгиба, номинальное разрушающее напряжение по ослабленному нетто-сечению –  $\sigma_{c0}$  может быть определено по формуле

$$\sigma_{c0} = \frac{P_{c^*} \left[ 1 - \frac{3(B-l)}{B-l} \right]}{(B-l)t}, \tag{1}$$

которую несложно преобразовать к виду:

$$\sigma_{c0} = \frac{P_{c^*}}{\left[ \frac{0,5(B-l)^2}{2B+l} \right] t}, \text{ или } \sigma_{c0} = \sigma_{H^*}^{(oc)} = \frac{P_{c^*}}{r^{(oc)} t},$$

где  $r^{(oc)}$  – размер ОС-сечения (в направлении трещины), равный согласно [1]

$$r^{(oc)} = \frac{0,5(B-l)^2}{2B+l};$$

$P_{c^*}$  – максимальная нагрузка на диаграмме растяжения;

$t$  – толщина образца.

Нагрузка  $P_{c^*}$  устанавливается из эксперимента или расчетным путем ( $P_c$ ), но при этом  $\sigma_{c0}$  ( $\sigma_{H^*}^{(oc)}$ ) приравнивается к пределу прочности  $\sigma_B$  [4]:

$$\begin{cases} \sigma_{H^*}^{(oc)} = \sigma_B = \frac{P_{c^*}}{r^{(oc)}t}; \\ P_c = 0,5\sigma_B t \frac{(B-l)^2}{2B+l}; \\ K_c = \frac{P_c Y}{t\sqrt{B}}. \end{cases} \quad (2)$$

Однако, как показывают эксперименты, для образцов шириной  $B > 20-30$  мм нагрузка  $P_{c^*} < P_c$  и соответственно  $\sigma_{c0}$  ( $\sigma_{H^*}^{(oc)}$ )  $< \sigma_B$ . Это несовпадение в нагрузках было предложено учитывать безразмерным коэффициентом  $\lambda = \frac{P_{c^*}}{2P_c}$  [5].

Прямое определение (на боковой поверхности плоского образца) протяженности ( $r^{(oc)}$ ) ОС-сечения позволило установить что

$$r^{(oc)} = k_B \frac{(B-l)^2}{2B+l}, \quad (3)$$

где  $k_B$  – безразмерный коэффициент, зависящий от ширины образца  $B$  и уровня прочности материала.

Допуская, что с помощью  $k_B$  возможна корректировка и размера  $r^{(chc)}$  СНС-сечения при  $\sigma_{c0}$  ( $\sigma_{H^*}^{(oc)}$ )  $< \sigma_B$ , ранее принятое, в первом приближении, уравнение [1]

$$r^{(chc)} = 0,5 \left( \frac{B-l}{2} \right),$$

преобразуем к виду

$$r^{(chc)} = k_B \left( \frac{B-l}{2} \right). \quad (4)$$

И соответственно, для случаев, когда  $\sigma_{c0}$  ( $\sigma_{H^*}^{(oc)}$ )  $< \sigma_B$ , уравнения (2) можно представить так

$$\begin{cases} \sigma_{H^*}^{(oc)} = \frac{P_{c^*}}{r^{(oc)}t} = \frac{P_{c^*}}{\left[ k_B \frac{(B-l)^2}{2B+l} \right] t}; \\ P_{c^*} = \lambda \sigma_B t \frac{(B-l)^2}{2B+l}; \\ K_c = \frac{P_{c^*} Y}{t\sqrt{B}}. \end{cases} \quad (5)$$

Таблица 2 – Сопоставление параметров  $k_B$  и  $\lambda$  для сталей разного уровня прочности при разных размерах образцов

Сталь	$\sigma_B$ , МПа	$B$ , мм	$k_B$	$\lambda$
20	423	80	0,54	0,48
		40	0,59	0,58
06Г2АФ	600	80	0,48	0,42
		40	0,52	0,51
14Х2ГМРЮЧ	962	80	0,40	0,33
		40	0,44	0,41
40ХН2СВА	1900	80	0,32	0,24
		40	0,35	0,30

Как показали результаты исследований, выполненных на образцах разных размеров из сталей разного структурного класса и уровня прочности ( $\sigma_B = 423-1900$  МПа) значения  $\lambda$  и  $k_B$  могут изменяться в широких интервалах с близкими границами:  $0,24 \leq \lambda \leq 0,58$  и  $0,32 \leq k_B \leq 0,59$ . Однако, значения  $\lambda$  не всегда совпадают с  $k_B$  и при относительно больших « $B$ » и  $\sigma_B$  коэффициент –  $k_B > \lambda$  (таблица 2).

В тех случаях, когда  $k_B$  превышает  $\lambda$  критическая величина напряжения  $\sigma_{H^*}^{(oc)}$  на границе ОС-сечения оказывается меньше  $\sigma_B$ . Это следует из совместного решения уравнений (5)

$$\sigma_{H^*}^{(oc)} = \frac{\lambda}{k_B} \sigma_B.$$

Из анализа (5) ясно, что при одной и той же разрушающей нагрузке  $P_{c^*}$  и длине трещи-



ны ( $l = \text{Const}$ ) по мере удаления от конца трещины, то есть при увеличении расстояния  $r_i$  и переходе за пределы ОС-сечения (при  $r_i > r^{(oc)}$ ), напряжение  $\sigma_{Hi}$  должно уменьшаться (рисунок 1). С учетом этого, уравнение (5) можно представить в следующем виде:

$$\sigma_{Hi} = \frac{P_{c^*}}{\left[ k_B \frac{(B-l)^2}{2B+l} + \Delta_r \right] t} = \frac{P_{c^*}}{r_i t}, \quad (6)$$

где  $r_i$  – расстояние от конца трещины до точки «i» нетто-сечения, в которой при нагрузке  $P_{c^*} = \text{Const}$  величина напряжения соответствует  $\sigma_{Hi} < \sigma_{H^{(oc)}}$ , при  $r_i > r^{(oc)}$  (рисунок 1);

$\Delta_r$  – расстояние между точками, удаленными на  $r_i$  и  $r^{(oc)}$  от конца трещины, при  $r_i = r^{(oc)}$ ,  $\Delta_r = 0$ .

На рисунке 1 представлены установленные по уравнениям (2) и (6) кривые распределения напряжений  $\sigma_{Hi}$  (за пределами ОС-сечений) в компактных образцах ( $B = 80$  мм) из стали 40ХН2СВА с исходными трещинами близких длин ( $l/B \cong 0,5$ ).

Из рисунка 1 видно, что для данной стали зависимость  $\sigma_{Hi} = f(r_i)$ , установленная по уравнению (6), располагается ниже (кривая 2) таковой, установленной по стандартной формуле (2) (кривая 1), что свидетельствует о более строгой оценке напряженно-деформированного состояния (с использованием уравнения (6)) в ослабленном трещиной сечении к моменту достижения предельного состояния.

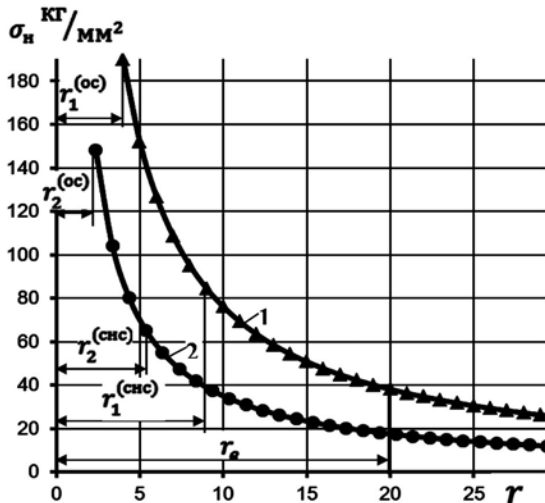


Рисунок 1 – Распределение нетто-напряжений  $\sigma_{Hi}$  на разных расстояниях  $r_i > r^{(oc)}$  от вершины трещины ( $l/B = 0,5$ ), в ослабленном сечении компактного образца ( $B = 80$  мм) из стали 40ХН2СВА при внецентренном растяжении: 1-установлено по стандартной формуле (2); 2-по приведенной формуле (6);  $r_i^{(oc)}$  и  $r_i^{(снс)}$  – соответственно размеры опасного и сильно-напряженного сечений

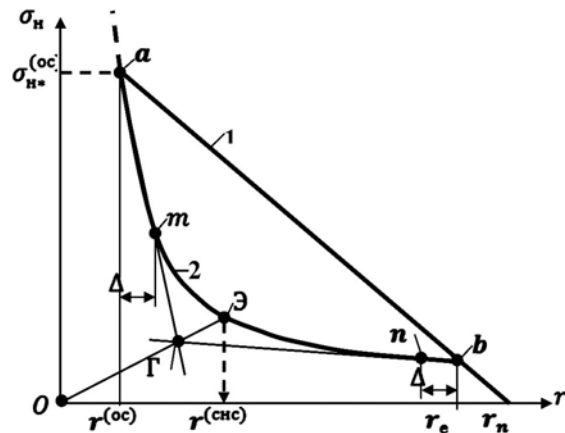


Рисунок 2 – Иллюстрация графического способа определения размера  $r^{(снс)}$  сильно напряженной части нетто-сечения (по линии трещины): 1-распределение напряжений  $\sigma_n$  согласно квазоупругой модели [1]; 2-то же, согласно расчета по формуле (6);  $r^{(oc)}$ -размер опасного сечения;  $r_e$ -расстояние от конца трещины до точки отсчета эксцентриситета нагрузки;  $r_n$ -расстояние от конца трещины до нейтральной оси

Анализ формы кривых на рисунке 1 позволяет выделить наиболее и наименее напряженные части ослабленного (нетто) сечения. Видно, что СНЧ-сечение протяженностью  $r^{(снс)}$  от вершины трещины сильно отличается (по градиенту напряжений  $\sigma_{Hi}$ ) от остальной – менее напряженной части нетто-сечения (при  $r > r^{(снс)}$ ). Однако по форме кривых  $\sigma_{Hi} = f(r)$  визуально установить границу СНЧ-сечения, размер которого –  $r^{(снс)}$  совпадал бы с расчетным (4) –  $r^{(снс)}$ , невозможно. Для этого предлагается графический способ определения  $r^{(снс)}$ .

Суть этого способа заключается в следующем. Кривая 2 (рисунок 2) ограничивается

вверху точкой «а», отвечающей уровню критического напряжения  $\sigma_{H^*}^{(oc)}$  на границе ОС-сечения, а внизу – точкой «b», расположенной на пересечении расчетной кривой 2 с прямой 1 распределения напряжений  $\sigma_{H^*}$  в соответствии с квазиупругой моделью [1]. При этом точка «а» должна находиться на расстоянии  $r^{(oc)}$  от конца трещины, а точка «b» – на расстоянии

$$r_e = e - l,$$

где  $e$  – эксцентриситет, равный [5]

$$e = 0,5(B - l).$$

Затем ось абсцисс, на участке « $r^{(oc)} - r_e$ », делится на равные отрезки, протяженностью  $\Delta \leq 1$  мм, и из каждой точки проводятся вертикали до пересечения с кривой 2. Аппроксимируя крайние отрезки «am» и «bn» этой кривой прямыми линиями, продолженными до взаимного пересечения, можно получить точку «Г», которая условно принимается за точку гипотетически допускаемого предельного изгиба кривой 2. Из начала координат через точку «Г» проводим луч «ОГ» до пересечения с кривой 2 в точке «Э» (рисунок 2), проекция которой на ось «ОХ» позволяет установить параметр  $r^{(снс)}$ , близко совпадающий (расхождение менее 10%) с расчетной величиной  $r^{(снс)}$ , устанавливаемой по формуле (4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сапрыкин, Ю.В. Диаграммы конструкционной прочности при совмещенном осевом и внецентренном растяжении / Ю.В. Сапрыкин // Изв. КГТУ им. И. Раззакова. -2011. -№22. -С. 11-14.
- 2 ГОСТ 25.506-85. Определение характеристик трещиностойкости при статическом нагружении. -М.: Изд-во стандартов. 1985.
- 3 Махутов, Н.А. Сопротивление элементов конструкций хрупкому разрушению / Н.А. Махутов. -М.: Машиностроение, 1973. -200 с.
- 4 Морозов, Е.М. Механика разрушения упругопластических тел / Е.М. Морозов. -М.: МИФИ, 1987. -88 с.
- 5 Влияние размеров компактных образцов на чувствительность материала к трещине при внецентренном растяжении / Ю.В. Сапрыкин, В.С. Кулаков, Т.Б. Дуйшеналиев, В.В. Костин // Изв. КГТУ им. И. Раззакова. -2011. -№23. -С. 108-113.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** трещина, трещиностойкость, вязкость разрушения

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Сапрыкин Юрий Васильевич канд. техн. наук, профессор КГТУ им. им. И. Раззакова

Костин Владимир Викторович, президент ООО «АвиаТехСнаб»

Дуйшеналиев Туратбек Болотбекович, докт. физ.-мат. наук, профессор, ректор КГТУ им. им. И. Раззакова

Кулаков Владимир Сергеевич, аспирант КГТУ им. им. И. Раззакова

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 720044, Кыргызстан, г. Бишкек, пр. Мира, 66, КГТУ им. им. И. Раззакова

630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Большевикская, 131, ООО «АвиаТехСнаб»

## ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ НАНОПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ СВОЙСТВ ТОПЛИВО-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ФГУП «Сибирский государственный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт метрологии»  
ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

**Г.В. Шувалов, А.П. Ильин, И.В. Клековкин**

**THERMOCHEMICAL PARAMETERS OF NANOPOWDERS OF METALS FOR UPDATING OF PROPERTIES FUEL-LUBRICANTS**

«Siberian research institute to metrologies»

National research «Tomsk polytechnic university»

G.V. Shuvalov, A.P. Il'in, I.V. Klekovkin

In article questions of measurement of thermochemical parameters of nanopowders of metals for updating of properties fuel-lubricants are considered.

*Keywords: fuel-lubricants, nanopowders of metals*

Рассмотрены вопросы измерения термохимических параметров нанопорошков металлов для модификации свойств топливо-смазочных материалов.

Развитие нанотехнологий открывает большие перспективы для разработки и применения новых материалов для топливо-энергетического комплекса. Направления использования нанотехнологий в топливо-энергетическом комплексе связаны с использованием наноматериалов (в том числе, нанопорошков) для изготовления деталей машин, работающих в

условиях повышенных механических нагрузок, и нанопористых материалов, среди которых наибольшее распространение получили нанопористые мембраны.

Наряду с применением нанопорошков металлов в традиционных областях материаловедения, в последнее время возрос интерес к их использованию для повышения срока службы машин и механизмов – применение металлоплакирующих смазочных материалов. При использовании металлоплакирующих смазочных материалов на поверхностях пар трения образуются тонкие пленки металлов (сервовитные пленки) [1]. Среди металлоплакирующих смазочных составов большой интерес представляют суспензии порошков металлов в маслах [2]. Применение нанопорошков (НП) металлов дает ряд преимуществ по сравнению с более крупными порошками [3, 4]. Известны металлоплакирующие смазочные составы, из которых при трении наносятся пленки меди и медных сплавов, например «Гарант». В США выпускаются в промышленных масштабах добавки на основе порошков сплавов меди «Restorer» и «Repower», а во Франции, также на основе порошков сплавов меди, производится добавка «Metal-5». Эти добавки содержат микронные порошки в жидких маслах.

В НИИ высоких напряжений (г. Томск) была разработана на основе нанопорошков железа металлоплакирующая присадка «СТАРТ» для двигателей внутреннего сгорания, содержащая маслорастворимую и нерастворимую в масле составляющие [5, 6]. Повышение антифрикционных свойств низкосортных смазочных масел проведено путем электрического взрыва медных проводников непосредственно в этих маслах, в результате чего образуются НП меди и углеродные кластеры (фуллерены) [7, 8].

При исследовании металлоплакирующих смазочных составов [9] было установлено, что важную роль играют структурно-энергетические характеристики нанопорошков металлов, в связи с чем, целью данной статьи является анализ термохимических параметров нанопорошков металлов.

Для тестирования устойчивости нанопорошков (НП) и их смесей к окислению и к химическому взаимодействию предлагается использовать дифференциальный термический анализ (ДТА). На основе данных ДТА определяют четыре термохимических параметра, характеризующих термические и химические свойства нанопорошков: температура начала окисления, степень окисленности, скорость окисления, тепловой эффект при окислении [10]. В работе использовали термоанализатор SDT Q600; анализ проводили в режиме линейного нагрева в интервале 20-1000 °С со скоростью нагрева 10 град./мин в атмосфере воздуха. Для тестирования был выбран нанопорошок алюминия и его смеси с нанопорошком молибдена и с нанопорошком вольфрама (таблица), которые были получены с помощью электрического взрыва проводников в среде аргона.

*Таблица – Состав исследуемых смесей НП алюминия, молибдена и вольфрама и их термохимические параметры*

№ образца	Состав образца, % масс.			Температура начала окисления, °С	Степень окисленности, %	Максимальная скорость окисления, % масс./с	Удельный тепловой эффект, Дж/г
	Al	Mo	W				
1	100,0	0	–	450	63,8	0,130	4995
2	100,0	–	0	400	45,9	0,100	4995
3	90,9	9,1	–	400	52,5	0,130	4265
4	83,3	16,7	–	380	42,8	0,080	4612
5	71,4	28,6	–	370	20,3	0,020	4020
6	0	100,0	–	350	42,3	0,007	3299
7	90,9	–	9,1	380	50,3	0,100	5794
8	83,3	–	16,7	380	58,5	0,410	6993
9	71,4	–	28,6	380	56,2	0,050	6593
10	0	–	100,0	370	24,1	0,030	3197

Исследуемые смеси подвергались ДТА, на основе которого были определены термохимические параметры для оценки термической устойчивости смесей.

Термохимические параметры НП алюминия. При нагревании в воздухе согласно ДТА (рисунок 1) НП алюминия проявляет высокую активность в сравнении с другими, используемыми в данной работе, порошками.

По термограмме (ТГ) (рисунок 1) заметна десорбция газообразных веществ, адсорбированных на поверхности частиц (~3% масс.), затем происходит резкое увеличение скорости

роста массы (кривая ТГ) и выделение теплоты, носящие взрывоподобный характер (кривая ДТА).

Параметры химической активности НП молибдена и его смесей с НП алюминия. При нагревании НП молибдена (рисунок 2) процесс его окисления протекает в две стадии с максимумами при 441 и 517 °С, что сопровождается увеличением массы образца. Наличие двух максимумов тепловыделения, наиболее вероятно, связано с бимодальным распределением частиц по диаметру: сначала окисляется фракция более мелких частиц, а затем – более крупная фракция. Необходимо также отметить, что вероятность образования  $MoO_2$  при повышенных температурах мала: оксид молибдена (IV) практически мгновенно окисляется до  $MoO_3$  и его можно получить только в восстановительной среде. При дальнейшем нагревании, начиная с 784 °С, наблюдается эндозэффект и резкое уменьшение массы образца, связанные с возгонкой оксида молибдена (VI).

На термограмме НП молибдена при температуре ~300 °С наблюдался эффект выделения тепла (8 кДж/моль), не сопровождавшийся изменением массы образца. Такой тепловой эффект объясняется протеканием релаксационных процессов в структуре наночастиц, что для НП молибдена обнаружено впервые.

Термохимические параметры исследуемых смесей (см. таблицу), необходимые для оценки устойчивости к окислению и к химическому взаимодействию компонентов, были также определены по данным термического анализа.

При содержании НП молибдена в смеси менее 30% масс. термограмма имеет вид, близкий к термограмме НП алюминия: наблюдается один узкий экзотермический экстремум окисления алюминия, сопровождающийся интенсивным окислением с большим тепловыделением и значительным приростом массы (до 4995 Дж/г и 63,8%, соответственно, для НП алюминия).

В целом, термохимические параметры смесей изменялись немонотонно: максимальная скорость окисления уменьшалась с увеличением содержания НП молибдена. При нагревании до 1000 °С степень окисленности смесей НП ниже, чем НП алюминия без добавок и минимальна (20,3%) для образца 5. Что касается величины удельного теплового эффекта, то для смесей он меньше, чем для НП алюминия без добавок: в целом удельный тепловой эффект с увеличением содержания добавки НП молибдена уменьшается. С увеличением

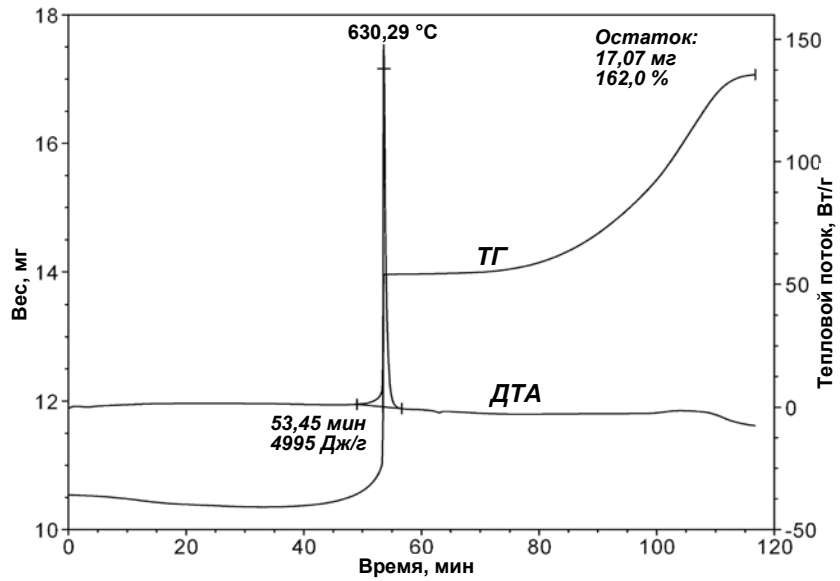


Рисунок 1 – Термограмма НП алюминия

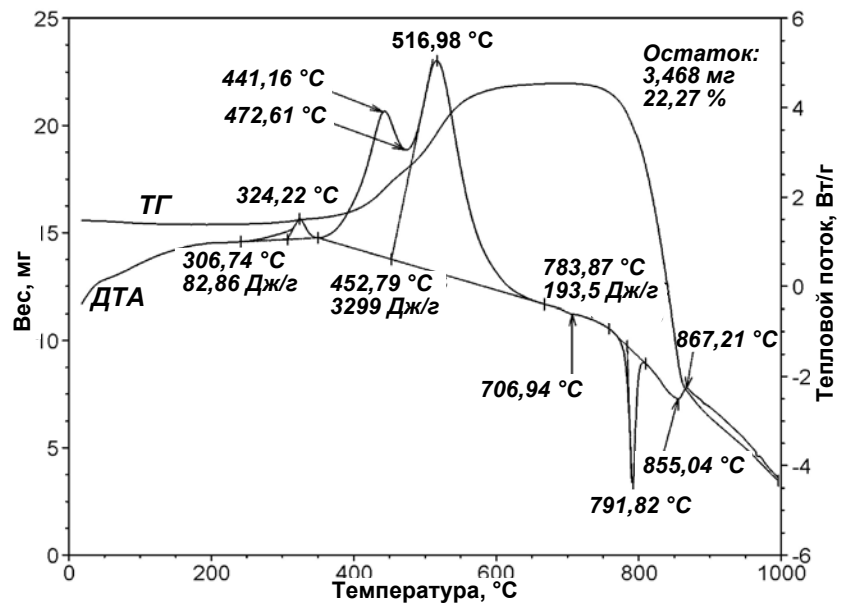


Рисунок 2 – Термограмма НП молибдена

содержания НП молибдена в смеси температура начала окисления снижается от 450 °С (НП алюминия) до 370 °С (НП молибдена).

*Термохимические параметры НП вольфрама и его смесей с НП алюминия.* Согласно ДТА исходных порошков и их смесей и расчетам термохимические параметры приведены в таблице.

Температура начала окисления НП алюминия составляла 400 °С, а НП вольфрама – 320 °С. С ростом содержания НП вольфрама в смесях температура начала окисления не изменялась (см. таблицу). Для смеси НП вольфрама и алюминия, содержащей 16,7% масс. НП вольфрама три параметра активности из четырех в несколько раз выше, чем для других составов. При нагревании в воздухе вначале окисление НП протекает относительно медленно, а затем, с увеличением количества выделяющегося тепла, процесс окисления переходит в режим теплового взрыва.

Таким образом, в результате проведенных исследований были определены термохимические параметры нанопорошка алюминия и его смеси с нанопорошками молибдена и вольфрама, которые необходимо учитывать при разработке металлоплакирующих смазочных материалов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гаркунов, Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов. -М.: Машиностроение, 1989. -328 с.
- 2 Гребенюк, М.Н. Повышение эффективности приработки двигателей путем применения металлоорганических соединений / М.Н. Гребенюк, В.В. Терегера // Долговечность трущихся деталей машин / под ред. Д.Н. Гаркунова. -М., 1988. -Вып. 3. -С. 96-143.
- 3 Пат. 1730842 Российская Федерация. Смазочный состав / А.П. Ильин, Ю.А. Краснятов, А.В. Елизаров, М.Г. Чернов. -Приоритет 14.02.90.
- 4 Пат. 2132363 Российская Федерация. Металлоплакирующий смазочный состав / А.П. Ильин, В.Ф. Петрунин. -Приоритет 24.04.97.
- 5 Ильин, А.П. Применение электровзрывных ультрадисперсных порошков в качестве добавок к маслам / А.П. Ильин, Ю.А. Краснятов, С.А. Ларионов // Получение, свойства и применение энергонасыщенных порошков металлов и их соединений: тез. докл. Рос. конф. / НИИ ВН при ТПУ. -Томск, 1993. -С. 83.
- 6 Ильин, А.П. Динамические эффекты в процессе трения при плакировании ультрадисперсными порошками / А.П. Ильин, Г.А. Медведев, В.Ф. Петрунин // Физикохимия ультрадисперсных (нано-) систем: тез. докл. VI Всерос. конф. / МИФИ. -М., 2002. -С. 397.
- 7 Назаренко, О.Б. Особенности формирования продуктов электрического взрыва проводников в конденсированных средах: дис. ... канд. техн. наук / О.Б. Назаренко. -Томск, 1996. -129 с.
- 8 Ильин, А.П. Модифицирование минеральных масел электрическим взрывом проводников / А.П. Ильин, О.Б. Назаренко // Высоковольтная техника и электротехнология: межвуз. сб. науч. тр. -Иваново, 1997. -Вып. 1. -С. 71-73.
- 9 Ильин, А.П. Влияние суспензии «моторное масло + смесь нанопорошков меди и никеля» на трибологические свойства пары трения «углеродистая сталь-низколегированная сталь» / А.П. Ильин, О.Б. Назаренко, С.В. Рихерт // Изв. ТПУ. -2004. -Т. 307, №3. -С. 77-79.
- 10 Ильин, А.П. Об активности порошков алюминия / А.П. Ильин, Г.В. Яблуновский, А.А. Громов // Физика горения и взрыва. -2001. -Т. 37, №4. -С. 58-62.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *топливо-смазочные материалы, нанопорошки металлов*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, зам. директора ФГУП «СНИИМ»  
Ильин Александр Петрович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
Клековкин Иван Владимирович, начальник лаборатории ФГУП «СНИИМ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630004, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СУДОВЫХ ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**ФГУП «Сибирский государственный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт метрологии»**

**Г.В. Шувалов**

### **PROSPECTS OF CREATION OF THE METROLOGICAL COMPLEX FOR DETERMINATION OF PARAMETERS OF SHIP COMBUSTIVE-LUBRICATING MATERIALS**

**«Siberian research institute to metrologies»  
G.V. Shuvalov**

In article questions of creation of a metrological complex for determination of parameters of ship combustive-lubricating materials are considered.

*Keywords: ship fuel-lubricants, metrological complex*

Рассмотрены вопросы создания метрологического комплекса для определения параметров судовых горюче-смазочных материалов.

При бункеровке судов топливно-смазочными материалами (ГСМ) их качество устанавливается в соответствии с паспортом качества нефтепродукта, который выдается, как правило, изготовителем.

Однако, качество ГСМ, поступающие на суда речного флота, часто отличается от стандартного, в основном из-за нарушения условий транспортировки и хранения. Это может привести к отказу судовых дизелей и, как следствие, к возникновению технико-экономических потерь. Поэтому возникает необходимость постоянного контроля качества ГСМ на судах при их хранении и использовании. Кроме этого, на судах речного флота в последнее время все чаще используются водотопливные эмульсии, которые готовят непосредственно на судне, в связи с чем качество их приготовления требует постоянного контроля.

Наиболее эффективным способом контроля качества ГСМ является применение специализированных мобильных (иногда и переносных) лабораторий, оснащенных необходимыми средствами измерений [1].

Для решения задач оперативного контроля качества нефтепродуктов на судах речного флота в Сибирском научно-исследовательском институте метрологии (ФГУП «СНИИМ») в настоящее время разработан вариант комплектной лаборатории анализа нефтепродуктов типа «КЛАН-1» модификации «С» [2, 3].

В состав лаборатории входит комплект измерительных приборов (анализаторов), измерительное и вспомогательное оборудование. В таблице приведен стандартная комплектация лаборатории для определения параметров судовых топлив.

*Таблице – Перечень приборов для измерения параметров судовых топлив*

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерения	Пределы допускаемой погрешности	Марка анализатора
Содержание воды, %	0,01-2,0	±10%	СИМ-4
Температура вспышки, °С (дизельное топливо и масло)	20-300	±5 °С	СИМ-5
Содержание серы в нефтепродуктах, %	0,01-2,00	±10%	СИМ-6
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,6-1,0	±0,0005 г/см <sup>3</sup>	СИМ-7
Диапазон измерения кинематической вязкости, мм <sup>2</sup> /с	3,69-9,78	±1,2%	СИМ-8
Разгон нефтепродуктов, °С	35-370	–	СИМ-10
Содержание механических примесей, %	0,002-0,11	±10%	СИМ-12

Все приборы, входящие в состав судовой мобильной лаборатории утверждены Росстандартом в качестве средств измерений и реализуют, как правило, стандартные методы испытаний нефтепродуктов (за исключением определение механических примесей).

Мобильная лаборатория внесена в Государственный реестр средств измерений (сертификат № 26145-03 от 19.01.2004 г).

С помощью лаборатории в ускоренные сроки (не более 1,5 ч) можно провести анализ судового топлива и моторных масел по основным параметрам с выдачей протокола испытаний.

При бункеровке судов показатели качества топлива устанавливаются в соответствии с требованиями, которые регламентируются международными и национальными стандартами.

Наиболее применяемой в морской практике в настоящее время за рубежом спецификацией является стандарт Международной Организации Стандартов (ISO) – «ISO 8217: 2010. Нефтяные продукты. Топлива (класс F)».

В связи с необходимостью перенесения международного опыта нормирования показателей судового топлива и для России в 2010 году был разработан ГОСТ Р 54299-2010 «Судовые топлива. Технические условия», который вводится в действие с 1 июля 2012 года.

В ГОСТ Р 54299-2010 появился ряд новых требований к свойствам дистиллятных топлив по отдельным показателям: в частности, содержание в топливе сероводорода не должно превышать 2,0 мг/кг, нормируется его смазывающая способность. Стандарт более четко и жестко устанавливает требования и к остаточным топливам, так появился ряд новых требований к свойствам: в частности, нормируется расчетный углеродно-ароматический индекс (ССАИ).

Кислотное число для остаточных топлив не должно превышать 2,0 мг КОН/г для всех

марок топлив; натрия, вызывающего коррозию топливной аппаратуры, должно содержаться не более 50-100 мг/кг. Вводятся также новые нормы совместного содержания алюминия и кремния для разных марок топлив в мг/кг, не более: RMA10 – 25, RMB30 – 40, RMD80 – 40, RME180 – 50, RMG180/380/500/700 – 60, RMK380/500/700 – 60. Кроме того, технический регламент «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» предъявляет обязательные требования к качеству отечественных судовых топлив в виде двух показателей, характеризующие экологические и пожароопасные свойства топлив, а именно: содержание серы и температура вспышки.

В этой связи возникает задача расширения возможностей судовой мобильной лаборатории за счет комплектования дополнительными приборами.

Так, при эксплуатации судовых энергетических установок часто возникают необходимость смешивания топлив различных видов. К таким случаям необходимо отнести: прием в не полностью опорожненные цистерны, содержавшие топливо с другими характеристиками; перевод двигателей с одного вида топлива на другой после длительной работы на одном из них; улучшение качество высоковязких топлив путем его разбавления маловязким топливом.

Топливная смесь должна иметь мелкодисперсную структуру и быть стабильной. Стабильность характеризует способность судового топлива, не расслаиваясь и не образуя осадка, сохранять свой состав и основные свойства при хранении, транспортировании и применении. Потеря стабильности смеси проявляется в образовании и выпадении осадка. Основной причиной потери стабильности является несовместимость компонентов смеси. Кроме этого, потеря стабильности может наблюдаться при продолжительном хранении смеси.

Поэтому при смешивании топлив возникает необходимость учитывать такое их эксплуатационное качество, как совместимость. Совместимость топлив рассматривается как стабильность их смеси. Несовместимость может наблюдаться в том случае, если смешиваются два топлива из разных источников. Так, при добавлении дистиллятного топлива парафинового типа к остаточному может наблюдаться выпадение из смеси асфальтенов.

Исходные топлива являются несовместимыми, если стабильность смеси хуже, чем стабильность наихудшего из них. Нестабильность смеси приводит к выпадению значительного количества осадков. Основным признаком несовместимости топлив является повышенное отделение шлама при сепарировании. Размер частиц асфальтенов в стабильных смесях составляет 1-5 мкм, смесь не расслаивается при хранении. При хранении нестабильной смеси происходит ее расслоение. Частицы асфальтенов имеют размеры 15-25 мкм и достигают 120-150 мкм, а при наличии карбенов и карбоидов – до 2-3 мм [4].

Для оценки стабильности и совместимости остаточных топлив, получаемых смешением прямогонных компонентов и продуктов глубокой переработки нефти, используют комплекс методов, основанных на искусственном старении топлив, которое вызывает смещение адсорбционного равновесия асфальтенов и их осаждение [5]. Методы ГОСТ Р 50837 (определение ксилольного и толуольного эквивалентов, общий осадок, стабильность и совместимость по пятну) описывают поведение топлива в условиях испытания, которые приводят к осаждению асфальтенов.

Стандартные методы определения стабильности и совместимости по условиям применения не всегда удовлетворяют требованиям практики, так как являются практически качественными и не позволяют оценить возможность изготовления смесового топлива еще до его приготовления по характеристикам компонентов. Вместе с тем зачастую возникает необходимость оперативного определения стабильности и совместимости нефтепродуктов в местах их хранения и использования, особенно в полевых условиях. Это обуславливает необходимость создания современных экспресс-методов определения стабильности и совместимости нефтепродуктов.

При создании экспресс-методов определения стабильности и совместимости нефтепродуктов были экспериментально исследованы следующие физико-химические методы:

- диэлькометрический;
- оптический;
- определение магнитной восприимчивости компонентов и смеси.

Результаты экспериментов показывают принципиальную возможность пригодности этих методов для оценки стабильности и совместимости нефтепродуктов.

Таким образом, существует перспектива создания метрологического комплекса для оп-

ределения параметров судовых горюче-смазочных материалов путем расширения возможностей базовой комплектной лаборатории анализа нефтепродуктов типа «КЛАН-1» модификации «С».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Приборы экспресс-анализа диэлектрических жидкостей / Г.В. Шувалов [и др.] // Физика. -2004. -Т. 47, -№11. -С. 200-202.
- 2 Шувалов, Г.В. Разработка приборов для определения физико-химических параметров трансформаторного масла / Г.В. Шувалов, А.В. Бондарев // Материалы международной научно-технической конференции «Электроэнергетика, электротехнические системы и комплексы», посвященной 100-летию электротехнического образования Сибири, Новосибирск. - Новосибирск, 2003. -С. 211-214.
- 3 Шувалов, Г.В. Опыт практического применения анализаторов СИМ-6 для определения серы в нефтепродуктах / Г.В. Шувалов // Материалы 6 международной выставки и научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2010»: сб. тр. -Новосибирск, 2010. -Т. 5, ч. 2. -С. 155-158.
- 4 Гаврилов, С.В. Технология использования воды, топлива, смазки / С.В. Гаврилов. -Петропавловск-Камчатский: Камчат-ГТУ, 2003. -203 с.
- 5 Митусова, Т.Н. Судовые топлива. Основные эксплуатационные характеристики / Т.Н. Митусова, Е.В. Непомнящая // Мир нефтепродуктов: вестн. нефтян. компаний. -2009. -№ 9/10. -С. 58-62.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** судовые топливо-смазочные материалы, метрологический комплекс  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, зам. директора ФГУП «СНИИМ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630004, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»

## ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОДГОТОВЛЕННОЙ ВОДЫ

ФГУП «Сибирский государственный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт метрологии»  
ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия»

**Г.В. Шувалов, Л.Б. Воробьева, А.А. Мамонов**

### ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF THE PREPARED WATER

«Siberian research institute to metrologies»

«Siberian state geodetic academy»

G.V. Shuvalov, L.B. Vorobyeva, A.A. Mamonov

In article questions of measurement of electrophysical properties of the prepared water are considered.

*Keywords: water drinking, elektroprovodnost of water, measurement*

Рассмотрены вопросы измерения электрофизических свойств подготовленной воды.

Вода широко используется на судах морского и речного флота. В зависимости от назначения различают следующие виды пресной воды, применяемой на судне:

- *питьевая* – для питья и приготовления пищи;
- *мыльевая* – для умывальников, душевых, прачечных;
- *питательная* – для питания парогенераторов;
- *дистиллированная* – для аккумуляторных батарей;
- *техническая* – для охлаждения судовых двигателей;
- *технологическая* – для обработки рыбы.

Кроме того, вода может применяться для приготовления водо-топливных эмульсий. В последние годы при обработке и подготовке воды стали широко использовать современные физико-химические методы, включая воздействие электромагнитным излучением сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона. В этой связи изучение электрофизических свойств обработанной СВЧ излучением воды представляет несомненный интерес.

В жидкой воде может происходить ассоциация молекул и соединение их в агрегаты, то есть воде присуща особая первичная структура. Это принципиальное открытие было сделано Берналом и Фаулером [1]. Это обусловлено водородными связями между молекулами, обеспечивающим уникальный тетраэдрический ближний порядок. Представления о кинетических свойствах жидкостей с позиций структурности предложены Френкелем [2] и легли в основу всех разработанных позднее моделей. Модельное описание структурности воды обобщено в обзоре Саркисова и полученные выводы соотнесены с результатами численных экспериментов [3]. Несмотря на множество исследований, полной ясности в вопросе о структуре вещества воды еще нет [4-8].

Все известные модели структуры воды можно условно разделить на две группы: дискретные и непрерывные. Все авторы соглашаются, что часть молекул жидкой воды (пример-



но 30%) находятся в свободном состоянии, около 30% не имеют упорядоченной структуры, а примерно 40% входит в состав ассоциатов и «водяных кристаллов», которые и составляют «структурированную» воду. Структурное свойство характерно для любого тела, но у воды это свойство легко изменяется при любом внешнем воздействии. Композиция свойств воды зависит как от степени ее чистоты, так и от термодинамического состояния: температуры, давления и других макропараметров. Свойствами и структурой воды – количеством свободных молекул воды в полостях клатратов и вне их, можно управлять с помощью давления, температуры, магнитного поля и т.д. Магнитная обработка воды увеличивает скорость химических процессов и кристаллизации растворенных веществ, интенсифицирует процессы адсорбции, повышает коагуляцию примесей и способствует выпадению их в осадок. Температурная активация увеличивает растворяющую способность воды и позволяет длительно удерживать в растворе аномальные количества растворенного вещества и значительно повышать кислотность. Вымораживание/кипячение воды, вызывает выделение солей жесткости. Кипячение воды с использованием энергии сверхвысокой частоты позволяет интенсифицировать физико-химические процессы, например, в регенерационной системе космического корабля [9].

В работе проведено исследование влияния видов подготовки образцов воды на её электрическую проводимость, как интегральное свойство чувствительное к концентрации/активности растворенных примесей и структуре вещества воды.

При измерениях использовалась стеклянная цилиндрическая измерительная ячейка с медными электродами. Удельная активная электрическая проводимость и ёмкость образцов воды в ячейке измерялись компенсационным методом на рабочей частоте 1 кГц, при этом чувствительность по электрической проводимости составляет 0,01 мкСм/см. Использовались следующие типы подготовки: дистиллированная вода, образцы водопроводной и водопроводной вымороженной воды, питьевой бутилированной с уровнем минерализации до 1 г/л и этой же вымороженной воды. Для всех образцов воды также были выполнены измерения после 5-минутного СВЧ кипячения с последующим выдерживанием при комнатной температуре в течение 24 ч. Результаты измерения приведены в таблице.

Уменьшение электрической проводимости образцов воды хорошо коррелирует с понижением содержания в них примесей. Видно, что вымораживание воды, которое способствует удалению солей жесткости, незначительно снижает электропроводность водопроводной воды и существенно увеличивает электропроводность питьевой. Это может быть связано как с повышением активности (концентрации) заряженных ионных частиц примесей, так и разрушением надмолекулярной структуры воды. Результаты показывают, что СВЧ обработка увеличивает удельную электрическую проводимость всех образцов воды, кроме водопроводной. Большую степень изменения (27%) показывает питьевая вымороженная вода (сравните с 19% для дистиллированной). Увеличение электропроводности после СВЧ обработки означает повышение активности (концентрации) заряженных частиц, что, в свою очередь, может также быть следствием разрушения надмолекулярной структуры вещества.

*Таблица – Электрические свойства подготовленной воды*

Вид воды	Удельная электрическая проводимость, мкСм/м		Ёмкость измерительной ячейки с образцом, пФ	
	без подготовки	после СВЧ кипячения	без подготовки	после СВЧ кипячения
Водопроводная	36,30	19,00	150	204
Дистиллированная	0,63	0,75	0,3	0,4
Питьевая (бутилированная)	20,20	23,15	–	–
Питьевая (бутилированная) вымороженная	19,30	24,70	166	248
Водопроводная вымороженная	22,00	21,90	340	167

Кроме того, было установлено, что реактивная составляющая сопротивления (электрическая ёмкость) дистиллированной воды на несколько порядков меньше, чем для всех остальных образцов, что означает, что реактивность является более чувствительным показателем состояния воды. СВЧ обработка увеличивает реактивность сопротивления образцов воды водопроводной вымороженной (на 36%), питьевой (на 50%), дистиллированной (на 33%). Только водопроводная вода показывает 50% уменьшение реактивности после СВЧ обработки. По всей видимости, этот результат могут определять следующие факторы: отно-

сительно высокая концентрация примесей, повышение структурности воды в результате вымораживания и деструктурирующее действие СВЧ обработки.

Таким образом, вода, подвергаемая физико-химическим методам обработки изменяет свои электрофизические характеристики. Имеет место различия в удельной электрической проводимости и реактивной составляющей сопротивления водопроводной воды и воды подвергнутой с целью очищения дополнительной обработке в сравнении с дистиллированной водой. Установлено, что реактивная составляющая сопротивления более чувствительна к виду подготовки образцов воды. Вероятнее всего реактивность сопротивления определяют ассоциаты образцов воды, отличающиеся размерами и конфигурацией, которые образуются в процессе подготовки воды и зависят от ее типа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бернал, Дж. Структура воды ионных растворов / Дж. Бернал, Р. Фаулер // Успехи физ. наук. -1934. -Т.14, -Вып. 5.
- 2 Френкель, Я.И. Кинетическая теория жидкостей / Я.И. Френкель. -М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1945.
- 3 Teresa Head-Gordon, T. Tetrahedral structure or chains for liquid water [Electronic resource] / T. Teresa Head-Gordon, M.E. Johnson. -Mode of access: <http://www.pnas.org/cgi/content/abstract/103/21/7973>
- 4 Frank, H.S., Wen, W.Y. // Discuss Faraday Soc. -1957. -Vol. 24. -P. 133.
- 5 Домрачев, Г.А. Механохимически активированное разложение воды в жидкой фазе / Г.А. Домрачев, Ю.Л. Родыгин, Д.А. Селивановский // ДАН. -1993. -№329(2). -С. 186-188.
- 6 Chaplin, M. Water structure and Science [Electronic resource] / M. Chaplin. -Mode of access: <http://www.lsbu.ac.uk/water/index2.html>
- 7 Саркисов, Г.Н. Структурные модели воды / Г.Н. Саркисов //Успехи физ. наук. -2006. -Т. 176, -№8. -С. 833-845.
- 8 Лен, Ж.-М. Супрамолекулярная химия: концепции и перспективы: пер. с англ. / Ж.-М. Лен. -Новосибирск: Наука, 1998.
- 9 Климарев, С.И. Интенсификация физико-химических процессов СВЧ-энергией в регенерационной системе жизнеобеспечения экипажа космического корабля: дис. ... д-ра техн. наук / С.И. Климарев. -М., 2009.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *вода питьевая, электропроводность воды, измерения*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, зам. директора ФГУП «СНИИМ»  
Воробьева Людмила Борисовна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГГА»  
Мамонов Анатолий Алексеевич, старший научный сотрудник ФГУП «СНИИМ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630004, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»  
630108, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, ФГБОУ ВПО «СГГА»*

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕВЕРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.П. Горелов, М.З. Рамазанов, Д.А. Шкитов, П.А. Дзюба

SYSTEM APPROACH TO THE PROBLEM OF ELECTRIFICATION OF NORTHERN MINERAL DEPOSITS

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.P. Gorelov, M.Z. Ramazanov, D.A. Shkitov, P.A. Dzuba

The main aspect of the system analysis a problem of electrification northern mineral deposits is generated.

Keywords: the electrification, the closed networks, the system analysis, stability, loading knot, conduction electromagnetic hindrances

Сформирован главный аспект системного анализа проблемы электрификации северных месторождений полезных ископаемых.

Нарастающие темпы добычи, транспортировки и первичной переработки природных ресурсов (нефть, газ, полиметаллы, алмазы и т.д.) в районах Сибири и Дальнего Востока, удалённых от действующих региональных электроэнергетических систем России, обуславливают интенсивную их электрификацию. При этом под электрификацией понимается широкое внедрение в производства и быт электрической энергии. С технической стороны электрификация представляет собой единый во времени процесс производства, распределения и потребления электроэнергии. Играет ведущую роль в осуществлении современного технического прогресса [1, 2].

Электрификация разделяется на электроснабжение и потребление или использование электрической энергии. В нашем исследовании процесс электропотребления условно сосредотачивается в узле нагрузки (УН), под которым понимают совокупность электроприёмников (ЭП), получающих питание (через питающие трансформаторы, кабельные и воздушные линии) от шин крупной подстанции. Режимы электроснабжения представляются режимами замкнутой электрической сети от 6 до 35 кВ, характерной для северных месторождений полезных ископаемых. Статическая устойчивость УН по напряжению представляется как параметр электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств в электрической сети или электроэнергетической системе (ЭЭС). ЭМС технических средств представляет способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке (ЭМО) и не создавать недопустимых электромагнитных помех (ЭМП) другим техническим средствам [3]. При этом под параметром электромагнитной совместимости понимается величина, количественно характеризующая возможность функционирования технического средства в заданной ЭМО. Анализ содержания проблемы обеспечения устойчивости узлов нагрузки в замкнутых ЭЭС начинается с рассмотрения методами системного анализа УН как объекта исследования в ЭЭС. С этой целью на рисунке 1 приводится взаимосвязь объектов энергетической системы, участвующих в технологическом процессе обеспечения потребителей электрической энергией [2]. Элементами системы передачи и распределения электроэнергии являются система электроснабжения и, входящая в её состав, электрическая сеть.

Энергосистема (ЭНС) представляет объединение ЭЭС и тепловых сетей (ТС), источников энергии (паровые котлы ПК или гидротехническое сооружение ГТС), турбин (Тр) и потребителей тепла (ПТ)



Рисунок 1 – Взаимосвязь объектов, обеспечивающих производство, передачу, распределение и потребление электрической энергии: ГГ-генератор, ЛЭП-линия электропередачи, Т-трансформатор

В системных исследованиях ЭЭС введены понятия простой, сложной и большой систем [4, 5]. Простой называют систему по уровню элементарных компонентов (элементов), которые могут быть точно количественно соизмеримы. При этом свойства простой системы достаточно полно характеризуются на основе свойств элементов образующих систему. Под сложной системой понимают систему, в которой её составляющие компоненты (элементы) сами являются системами (подсистемами) со всей характерной сущностью системы (в первую очередь определяемой понятием целостности). Большими называют сложные иерархически построенные (многоуровневые) человеко-машинные системы, в которых пространственный (географический) фактор имеет существенное значение. Сущность этой системы можно охарактеризовать как реальную и целенаправленно развивающуюся систему. Это развитие осуществляется органами управления, располагающими неполной информацией о системе [5].

В связи с изложенным узел нагрузки является подсистемой сложной системы – ЭЭС. Классический подход к исследованию систем основывается на том, что свойства целого (системы) определяются, главным образом, свойствами составляющих его элементов (подсистем). Системный же подход основывается на другой парадигме. Система не детерминируется однозначно совокупностью элементов и не сводится к ним, а наоборот, элементы детерминируются целым комплексом, в рамках которого и получают своё функциональное назначение. При этом у системы в целом появляются новые свойства, отсутствующие у её элементов. Применительно к задаче исследования можно отметить, что УН формирует уровень ЭМС для кондуктивных электромагнитных помех. Такого влияния отдельные электроприёмники не могут оказать на электромагнитную обстановку в сети.

Кроме того системный анализ предполагает [4, 5]:

- установление границ исследуемой системы заданного назначения как целого, то есть выделение её из окружающей среды;
- определение целой системы, критериев качества функционирования и методов расчёта;
- декомпозиция системы на составные части (подсистемы), которые на более низком уровне иерархии рассматриваются как подсистемы;
- исследование системы (подсистемы) во всех требуемых целевым назначением аспектах с учётом всех значимых связей как между частями одного уровня, так и между различными уровнями.

Системный анализ позволяет рассматривать независимые друг от друга подсистему УН и сложную ЭЭС, которые имеют свои цели и методы исследования устойчивости. В нормальных условиях признаком устойчивости является способность энергетической системы возвращаться к установившемуся режиму, который наступает при отсутствии возмущений и прекращении действий регуляторов всех видов. В ЭЭС выделяют статическую устойчивость, под которой понимается способность системы возвращаться в исходное состояние или близкое к нему после малых (теоретически – бесконечно малых) возмущений, и динамическую устойчивость – способность системы возвращаться в исходное состояние или близкое к нему после больших (например, коротких замыканий) возмущений [6].

Нормальный режим работы ЭЭС (см. рисунок 1) обеспечивается различными автоматическими регуляторами (АР), устройствами релейной защиты (РЗ), противоаварийной автоматикой (ПА) и средствами диспетчерского и технологического управления (СДТУ). При этом ЭЭС должна иметь нормированный запас устойчивости по активной мощности [2].

Таким образом, совершенно очевидно, что об обеспечении устойчивости УН не может быть и речи, если ЭЭС не устойчива. Однако, изложенные выше положения позволяют рассмотреть проблему обеспечения устойчивости УН по напряжению с двух сторон. Во-первых, запас устойчивости УН по напряжению может не соответствовать требованиям качественно-функционального функционирования системы сети от 6 до 35 кВ. Здесь качество функционирования технического средства означает совокупность его показателей, характеризующих способность удовлетворять требованиям эксплуатации [3]. Чаще всего такое явление наблюдается при сложной ЭМО в питающей сети, обусловленной кондуктивными ЭМП, распространяющимися по проводам. Эти помехи, вызванные нестандартными значениями показателей качества электроэнергии (КЭ), снижают естественный запас устойчивости УН по напряжению. Они являются критерием качества функционирования сетей среднего напряжения, обостряют проблему ЭМС технических средств. Электроприёмники УН являются различными рецепторами, реагирующими на электромагнитные помехи и/или электромагнитный сигнал [7].

Во-вторых, свойства крупных узлов нагрузок влияют на устойчивость параллельной работы электрических станций, на статическую и динамическую устойчивость ЭЭС. Однако, такие явления наблюдаются при отключении мощных (до сотни и более МВ·А) подстанций в сетях напряжением 110 кВ и выше [2]. Узлы нагрузки, подключённые к замкнутым сетям от 6 до 35 кВ северных месторождений полезных ископаемых, имеют мощности на порядок меньше и не оказывают существенного влияния на устойчивость сетей 110 кВ и выше [1].

Эти сети имеют сравнительно небольшой радиус действия 15-30 км, что в значительной мере определяет режим работы нейтрали. Они имеют изолированную нейтраль, так как ёмкостный ток замыкания фазы на землю не превышает нормированных значений. Такой режим нейтрали даёт при эксплуатации определённые преимущества, обусловленные отсутствием дугогасящих реакторов и возможностью не отключать в течение 2-х часов сеть при замыкании одной из фаз на землю. За это время необходимо отыскать и локализовать повреждение изоляции. При этом треугольник междуфазных напряжений остаётся практически неизменным, а электроснабжение не прерывается. Однако, в этих сетях наблюдается сложная электромагнитная обстановка, снижающая надёжность и эффективность электроснабжения [1]. Объясняется это нарушением регламентируемых ГОСТ 13109-97 уровней ЭМС для кондуктивных электромагнитных помех по:

- установившемуся отклонению напряжения  $\delta U_n$ ;
- коммутационному импульсному напряжению  $\delta U_{имп}$ ;
- отклонению частоты  $\delta(\Delta f)$ ;
- коэффициенту искажения синусоидальности кривой междуфазного (фазного) напряжений  $\delta K_U$  и  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения  $\delta K_{U(n)}$ ;
- коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности  $\delta K_{2U}$ .

Основными причинами нарушения ЭМС технических средств в рассматриваемых сетях являются следующие положения [1]:

- сети, построенные по замкнутому принципу, работают в разомкнутом режиме с не оптимальными местами размыкания, в результате чего не рационально используются интегральные показатели сетей (мощности трёхфазных КЗ) для подавления кондуктивных ЭМП, снижаются запасы устойчивости узлов нагрузки по напряжению;
- эскалация нелинейной и несимметричной электрической нагрузки в северных регионах;
- массовое внедрение вакуумных выключателей для коммутации различных приёмников электроэнергии.

Хотя каждый удалённый регион имеет свои особенности, обусловленные различием приёмников электроэнергии, источников электроэнергии (электростанции собственных нужд) и канализацией электроэнергии внутри площадок месторождений, всё же имеются общие независимые факторы, влияющие на устойчивость узла нагрузки по напряжению. Это статические характеристики УН [6], обусловленные значениями активной  $P$  и реактивной  $Q$  мощностей, и интегральные показатели ЭЭС в виде электродвижущей силы (ЭДС)  $E_s$ , эквивалентного генератора системы электроснабжения и индуктивности  $X$  эквивалентной схемы замещения (рисунок 2), а также величина напряжения  $U$ . При этом имеем в виду, что электромагнитная обстановка в УН характеризуется теми показателями КЭ, которые не соответствуют ГОСТ 13109-97, а критерием устойчивости УН по напряжению является  $dE_s/dU$ .

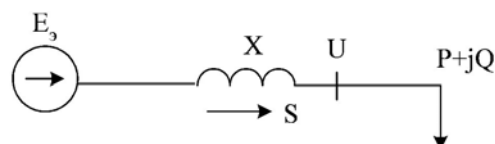


Рисунок 2 – Эквивалентная схема замещения системы электроснабжения узла нагрузки

Изложенные постулаты позволяют сформировать главный аспект системного анализа применительно к проблеме электрификации северных месторождений полезных ископаемых как обеспечение условий устойчивой работы УН по напряжению при качественном функционировании сети напряжением от 6 до 35 кВ, обеспечивающих ЭМС технических средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сальников, В.Г. Выбор базового объекта исследования электромагнитной совместимости в замкнутых сетях от 6 до 35 кВ северных месторождений газа / В.Г. Сальников [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2009. -№2. -С. 209-213.
- 2 Герасименко, А.А. Передача и распределение электрической энергии / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. -2-е изд. -Ростов

н/Д: Феникс, 2008. -715 с.

3 ГОСТ Р 50397-92. Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения. -М.: Изд-во стандартов, 1993. -14 с.

4 Веников, В.А. Системный подход к проблемам электроэнергетических систем / В.А. Веников // Электричество. -1985. -№6. -С. 1-4.

5 Мелентьев, Л.А. Системные исследования в энергетике. Элементы теории, направления развития / Л.А. Мелентьев. -2-е изд. перераб. и доп. -М.: Наука, 1983. -455 с.

6 Долгов, А.П. Устойчивость систем. учеб. Пособие / А.П. Долгов. -Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. -176 с.

7 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в сетях транспортных систем (теория, расчёт, подавление) / Е.В. Иванова // Трансп. дело России. -2006. -№8. -С. 16-20.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *электрификация, замкнутые сети, системный анализ, устойчивость, узел нагрузки, кондуктивные электромагнитные помехи*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Горелов Валерий Павлович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Рамазанов Мурат Зикенович, канд. техн. наук, докторант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Шкитов Денис Александрович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Дзюба Павел Анатольевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## **КОНЦЕПЦИЯ УСТОЙЧИВОСТИ УЗЛА НАГРУЗКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6-35 кВ СЕВЕРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

**ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»**

**С.В. Горелов, Ю.М. Денчик, В.Г. Сальников, Д.А. Шкитов**

**THE CONCEPT OF STABILITY OF KNOT OF LOADING IN ELECTRIC NETWORKS OF 6-35 KV OF NORTHERN MINERAL DEPOSITS**

**«Novosibirsk state academy of water transport»**

**S.V. Gorelov, Ju.M. Denchik, V.G. Sal'nikov, D.A. Shkitov**

The calculation algorithm of a stock factor stability of the generalized knot loading on pressure is resulted. Static characteristics are presented, the regulating effect of loading is defined.

*Keywords: stability, loading knot, factor of a stock of stability, static characteristics, a total power*

Приведён алгоритм расчёта коэффициента запаса устойчивости обобщённого узла нагрузки по напряжению. Представлены статические характеристики, определён регулирующий эффект нагрузки.

Нормальный режим работы электроэнергетической системы (ЭЭС) обеспечивается различными автоматическими регуляторами, устройствами релейной защиты, противоаварийной автоматикой и средствами диспетчерского и технологического управления. При этом возмущения, которым должна противостоять ЭЭС, оговорены специально [1]. Критическое напряжение в узлах нагрузки 110 кВ и выше при отсутствии более точных данных следует принимать равным одной из величин:  $0,7U_n$  и  $0,75U_n$  -напряжение в рассматриваемом узле нагрузки (УН) при нормальном режиме ЭЭС. Показатели устойчивости ЭЭС нормируются.

Проблема качественного функционирования сети от 6 до 35 кВ имеет свои особенности, обусловленные стохастическим характером изменения локальных параметров. Дело в том, что даже при установившемся режиме ЭЭС работу УН сети от 6 до 35 кВ иногда нельзя признать качественной. Например, при резких и значительных изменениях реактивной мощности, зависящей от режима потребления электроэнергии технологическим процессом, появляется кондуктивная электромагнитная помеха (ЭМП) по отклонению напряжения, которая подлежит подавлению [2]. При этом под качеством функционирования технического средства понимается совокупность показателей технического средства, характеризующих его способность удовлетворять требованиям эксплуатации.

Таким образом, решение задачи качественного функционирования УН сети среднего напряжения не охватывает нормативный документ по устойчивости ЭЭС [1]. Эту проблему необходимо решать самостоятельно для каждого конкретного случая, учитывая особенности электрической нагрузки и предполагая, что система электроснабжения работает в установившемся режиме. Принятие технического решения по повышению качества функционирования рассматриваемого УН необходимо обосновывать на основе результатов: анализа статической характеристики и устойчивости УН по напряжению; исследований влияния кондуктивных ЭМП на устойчивость.

Для конкретизации концепции дальнейшее изложение осуществляется на базе замкнутой сети 10 кВ Ямбургского месторождения газа [3].

а) Исследуется изменение полной мощности узла сети в течение характерных суток в функции напряжения и частоты

$$\sum_{i=1}^n S_i = \varphi(U, f), \quad (1)$$

где  $n$  – количество индивидуальных электроприёмников;

$\sum_{i=1}^n S_i$  – суммарная (групповая) полная

мощность всех потребителей УН, МВ·А.

Изменение суточного графика полной мощности УН (рисунок 1) совершается под влиянием индивидуальных и большого числа независимых случайных факторов, имеет причинно-статистическую природу.

Естественными интегральными характеристиками электро-потребления являются математические ожидания полной мощности  $M[S]$  и среднеквадратической полной мощности  $M[S_{скв}]$  за расчётный период  $T$  (24 ч) [4, 5]

$$\begin{cases} M[S] = \frac{1}{T} \int_0^T S(t) dt; \\ M[S_{скв}] = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T S^2(t) dt}. \end{cases} \quad (2)$$

Коэффициенты, характеризующие суточный график полной мощности, определялись по формулам [4]

$$\begin{cases} K_{нр} = S_{нм} / S_{нб}; \\ K_з = M[S] / S_{нб} \leq 1; \\ K_ф = M[S_{скв}] / M[S] \geq 1, \end{cases} \quad (3)$$

где  $K_{нр}, K_з, K_ф$  – соответственно, коэффициенты неравномерности, заполнения суточного графика и формы графика;

$S_{нм}, S_{нб}$  – наименьшая и наибольшая полная мощность, МВ·А.

Для исследуемого УН с вероятностью 0,95 получили следующие характеристики:  $K_{нр} = 0,71$ ;  $K_з = 0,86$ ;  $K_ф = 1,05$ .

б) Определяется регулирующий эффект нагрузки, который отображает способность УН стабилизировать режимные параметры сети (напряжение, частота) при единичных изменениях напряжения и частоты. Для этой цели построены статические характеристики УН (рисунок 2)

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n P_i = \varphi(f, U); \\ \sum_{i=1}^n Q_i = \psi(f, U), \end{cases} \quad (4)$$

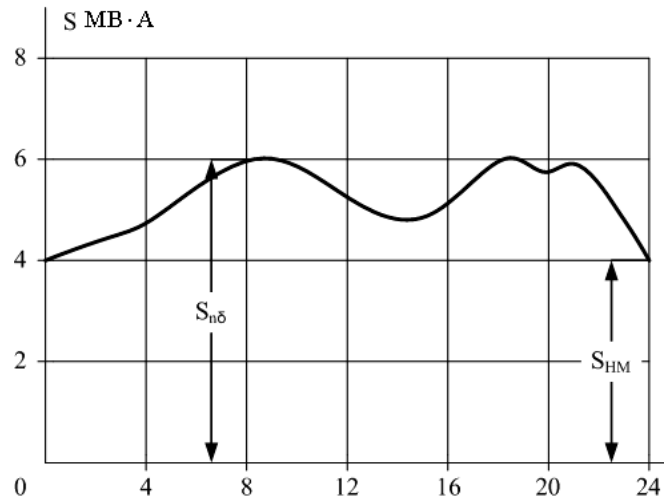


Рисунок 1 – Суточный график полной мощности узла нагрузки исследуемой сети 10 кВ

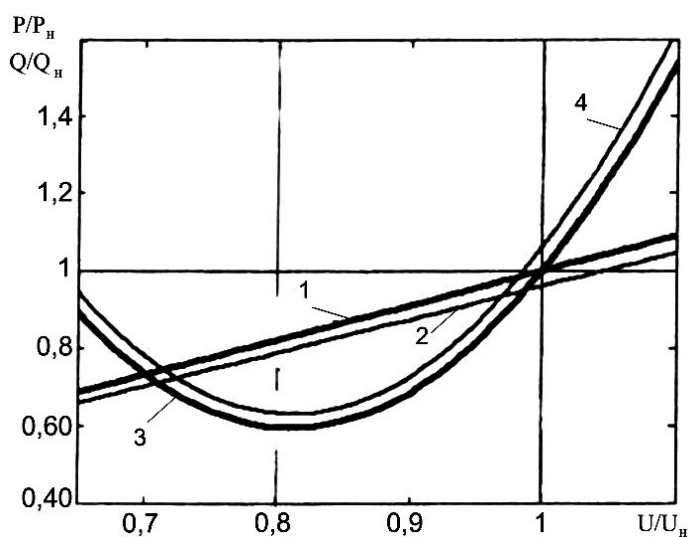


Рисунок 2 – Статические характеристики обобщённого узла нагрузки сети 10 кВ: 1-функция  $P/P_n = f(U/U_n)$  при  $f = 50$  Гц; 2-при  $f = 48$  Гц; 3-функция  $Q/Q_n = f(U/U_n)$  при  $f = 50$  Гц; 4-при  $f = 48$  Гц

где  $P_i, Q_i$  – соответственно, активная и реактивная мощности  $i$ -го электроприёмника, МВт и МВ·Ар.

Регулирующие эффекты нагрузки определялись как частные производные  $P$  и  $Q$  по параметрам  $(U, f)$ , вычисленные в точке номинального параметра, то есть

$$\begin{cases} \alpha_f = (dP/df)_{f=f_H}; & \alpha_U = (dP/dU)_{U=U_H}; \\ \beta_f = (dQ/df)_{f=f_H}; & \beta_U = (dQ/dU)_{U=U_H}. \end{cases} \quad (5)$$

Для обобщённого узла нагрузки сети 10 кВ они составляют  $\alpha_U \approx 0,6$ ;  $\beta_U \approx 1,6-2,3$ ;  $\alpha_f = 1,2-1,5$ ;  $\beta_f = -(1,4-1,5)$ .

Чем больше регулирующий эффект, тем быстрее происходит стабилизация режимного параметра. Например, при регулирующем эффекте  $\beta_U = 2,3$  нагрузка при понижении напряжения будет сбрасывать свою реактивную мощность и способствовать стабилизации напряжения в большей степени, чем при  $\beta_U = 1,6$  [5].

в) Запас устойчивости УН характеризует коэффициент запаса по напряжению [5]

$$K_{(U)} = \frac{U - U_{кр}}{U}, \quad (6)$$

где  $U$  – напряжение в узле в рассматриваемом режиме, В;

$U_{кр}$  – критическое напряжение, соответствующее границе статической устойчивости асинхронных электродвигателей, В.

Для определения этого коэффициента используется критерий  $dE_3/dU$ , который связан со статическими характеристиками, и следующий алгоритм расчёта:

– составляется эквивалентная схема замещения ЭЭС, содержащая одну эквивалентную электрическую станцию и один узел нагрузки (рисунок 3); для исследуемого узла нагрузки  $X = 0,45$ ;

– рассчитывается с помощью статической характеристики (см. рисунок 2) электродвижущая сила (ЭДС) эквивалентного генератора [5]

$$E_3 = \sqrt{\left[ \frac{U}{U_H} + X \frac{Q}{Q_H} \frac{U_H}{U} \right]^2 + \left[ X \frac{P}{P_H} \frac{U_H}{U} \right]^2}; \quad (7)$$

– строится и анализируется график функции  $E_3 = f(U/U_H)$  (рисунок 4); по мере снижения напряжения значение производной  $dE_3/dU$  уменьшается и при критическом напряжении  $U_{кр}$  производная обращается в ноль; при дальнейшем снижении напряжения знак производной меняется. Устойчивость нагрузки сохраняется при напряжениях больше  $U_{кр}$ , в этом случае  $dE_3/dU > 0$ ;

– определяется по формуле (6) коэффициент запаса устойчивости по напряжению.

Для исследуемого узла нагрузки сети 10 кВ коэффициент  $K_{(U)} = 0,19$ .

Таким образом, устойчивость узла нагрузки северного месторождения газа не может удовлетворять требованиям качественного функционирования сети среднего напряжения, потому что в (1,3-1,5) раза меньше, чем для сети 110 кВ и выше.

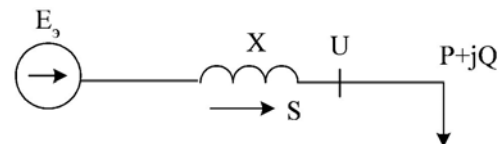


Рисунок 3 – Эквивалентная схема замещения системы электроснабжения узла нагрузки

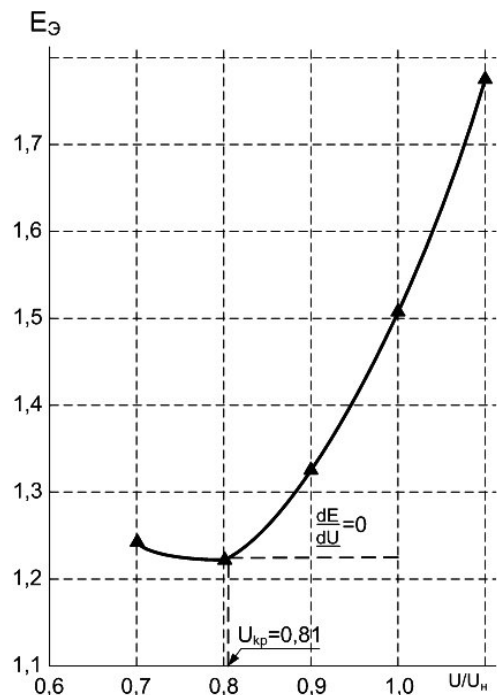


Рисунок 4 – График функции  $E_3 = f(U/U_H)$  узла нагрузки исследуемой сети 10 кВ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Методические указания по устойчивости энергосистем. Утверждены приказом Минэнерго РФ №277 от 30.06.2003 г.  
2 ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Взамен ГОСТ 13109-87;



введ. 01.01.99. -М.: Стандарты, 1998. -31 с.

3 Сальников, В.Г. Выбор базового объекта исследования электромагнитной совместимости в замкнутых сетях от 6 до 35 кВ северных месторождений газа / В.Г. Сальников [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2009. -№2. -С. 209-213.

4 Герасименко, А.А. Передача и распределение электрической энергии / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. -2-е изд. -Ростов н/Д: Феникс, 2008. -715 с.

5 Долгов, А.П. Устойчивость систем: учеб. пособие / А.П. Долгов. -Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. -176 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *устойчивость, узел нагрузки, коэффициент запаса устойчивости, статические характеристики, полная мощность*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Горелов Сергей Валерьевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Сальников Василий Герасимович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Шкитов Денис Александрович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## **РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ МОЩНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОСУШИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ СУШКИ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

**ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей  
сообщения»**

**В.А. Тихомиров**

**RESOURCE-SAVING MANAGEMENT OF CAPACITY ELECTRO FURNACES IN TECHNOLOGICAL PROCESSES OF DRYING OF  
ISOLATION OF ELECTRIC CARS OF A ROLLING STOCK**

**«Irkutsk state university of means of communication»**

**V.A. Tikhomirov**

The semi-conductor converter of entrance electric resistance, with the explanatory of its work and as various control modes by capacity of the electric furnace for formation of necessary temperature in dryer to the chamber are considered is offered.

*Keywords: the semi-conductor converter, control modes, the electric furnace for isolation drying*

Предложен полупроводниковый преобразователь входного электрического сопротивления, с пояснением его работы, а так же рассмотрены различные режимы управления мощностью электропечи для формирования необходимой температуры в сушильной камере.

Анализ надежности тяговых электродвигателей Восточного региона показывает, что на долю тяговых электродвигателей (ТЭД) приходится более одной пятой отказов. Наблюдается рост повреждений ТЭД по мере увеличения срока эксплуатации. Средняя стоимость устранения отказа ТЭД в несколько раз превышает стоимость устранения повреждений других видов оборудования электровоза.

Наиболее уязвимым элементом тяговых электрических машин и аппаратов и в тоже время дорогим является изоляция. Сушка и пропитка изоляции имеют целью повышение ее диэлектрической и механической прочности, химо- и влагостойкости, теплопроводности, то есть всего комплекса свойств, которые определяют качество изоляции и, следовательно, надежность и долговечность эксплуатации обмоток.

Существуют следующие способы сушки обмоток электрических машин: конвективный, терморadiационный, индукционный, токовая сушка. Во всех этих способах предусматривается процесс нагрева – передачи тепловой энергии от одного тела к другому. Температурные условия термообработки обычно жестко определены изготовителем пропитываемого состава, а длительность его является функцией технологических свойств материалов, образующих систему изоляции, их массы, конструктивных характеристик обрабатываемого узла, давления, а также способа подвода тепла к изоляции. Эти же факторы, дополненные показателем влажности, определяют длительность режимов предварительной сушки перед пропиткой. Способ нагрева является практически единственным параметром, неограниченным регламентирующими рамками, и его обоснованный выбор может существенно повлиять на интенсивность и эффективность рассматриваемого технологического процесса. Несмотря на имеющиеся наработки по применению нетрадиционных способов подвода тепла, базовым при изготовлении и ремонте ТЭД остается пока конвективный нагрев.

В локомотивных депо сушка изоляции двигателей производится в электрических печах А123, СНОС, СДОС и др.

В электрической печи А123 – группы нагревателей, управляемые контакторами предусмотрена проектом схема автоматического регулирования температуры в сушильной камере с термопарой и контактным термометром манометрического типа ТПГ-СК с однопозиционным регулированием, который имеет двухпозиционное регулирующее устройство, действующее на контакторы.

Плавное управление мощностью электросушильных печей позволяет снизить расход электроэнергии непосредственно на технологические процессы, но из-за ухудшения энергетических показателей электроустановок с полупроводниковыми преобразователями в режимах управления электрические сети и источники энергии загружаются дополнительным током, который может превышать в два и более раза ток, достаточный для выполнения работы [1]. Коммутацией дополнительного тока ухудшаются показатели качества электрической энергии в сети, что ограничивает единичную установленную мощность электроустановок с полупроводниковыми преобразователями и снижает эффективность работы других электропотребителей.

В Иркутском государственном университете путей сообщения разрабатываются преобразователи входного электрического сопротивления [2, 3]. Например, нами предложена модернизация сушильной печи А123 то есть оснащение её преобразователем входного электрического сопротивления с датчиками температуры и влажности, обеспечивающими оптимальную температуру в камере, высокий коэффициент мощности и практически исключаящий нелинейные искажения потребляемого тока.

На рисунке 1 представлена силовая часть полупроводникового преобразователя для управления мощностью электронагревателей сушильной печи изменением способа соединения сопротивлений с одновременным уменьшением действующего напряжения на нагревателях в номинальном режиме, по сравнению с напряжением сети.

Управление мощностью электросушильной печи с помощью полупроводниковых преобразователей входного электрического сопротивления может быть фазовым, способом импульсной модуляции на низкой частоте, так и их сочетанием.

Полупроводниковым преобразователем (рисунок 1) можно изменять действующее значение напряжения на электронагревателях Z1...Z6 от номинального действующего значения напряжения сети до нуля, поэтому преобразователь можно применять для управления мощностью электронагревателей со стандартными значениями номинального напряжения сети. Номинальный режим электронагревателей обеспечивается одновременной подачей импульсов управления на тиристоры VS1, VS2, VS4, VS5, VS7, VS8 и на тиристоры VS2, VS3, VS5, VS6, VS8, VS9 с углом проводимости тиристоров  $\beta = 180^\circ$ . В режиме управления активная мощность сушильной печи уменьшается, за счет различного соединения электронагревательных элементов во времени, при этом увеличивается входное электрическое сопротивление электронагревательной установки. Часть времени нагреватели соединены параллельно, по смешанной схеме или последовательно.

Вместо фазового управления тиристорами, предложенного в работе [4], можно использовать управление тиристорами модуляцией на низкой частоте с  $\alpha = 0^\circ$ . Если напряжение сети имеет синусоидальную форму, то процесс управления мощностью можно пояснить с помощью временных диаграмм напряжения (рисунок 2).

В режимах управления мощность электронагревателей можно уменьшать, обеспечивая синусоидальную форму тока на входе преобразователей и необходимую температуру на поверхности электронагревателей изменением продолжительности подачи напряжения и

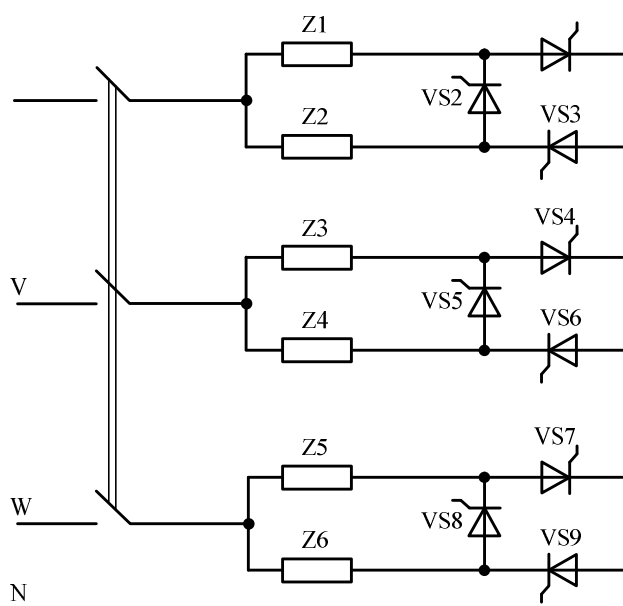


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема электросушильной печи с преобразователем, изменяющим способ соединения сопротивлений

паузы с использованием тепловой инерционности элементов. Из временных диаграмм (рисунок 2) видно, что можно получать различный уровень температуры на поверхности электронагревателей и формировать необходимое тепловое поле в сушильной камере.

Рассмотренные варианты, в основном, демонстрируют возможности способа управления мощностью электронагревателей и предусматривают модуляцию напряжения в пределах 2...10 периодов напряжения сети. В реальных условиях частота пульсаций тока может быть снижена в 100...10000 раз и более при задании режимов управления от датчиков тока, напряжений, температуры.

При управлении температурным режимом в сушильной камере с помощью полупроводникового регулятора мощности достигается энергосбережение за счет исключения перерыва в работе электропечи, во время которого происходит остывание изоляции обмотки. Потери энергии на нагрев воздуха в камере исключаются для вывода температуры изоляции на оптимальный уровень в процессе сушки. Длительная и стабильная температура сушки изоляции в камере электропечи, обеспечиваемая полупроводниковыми преобразователями, необходима для полимеризации лаковой основы и образования пленки. За счет этого ускоряются физико-химические процессы полимеризации и повышается электрическая прочность изоляции.

Электросушильные печи с данными преобразователями в отличие от отечественных и зарубежных аналогов не требуется оснащать компенсирующими устройствами, входными и выходными фильтрами и применять экранированные кабели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Астраханцев, Л.А. Тиристорные регуляторы для управления мощностью электронагревателей / Л.А. Астраханцев // Техника в сел. хоз-ве. -1990. -№6. -С. 59-60.
- 2 Пат. 2427878 Российская Федерация, МПК G05F 1/66 H02M 7/155 H02M 7/162. Способ и устройство регулирования мощности нагрузки / Л.А. Астраханцев [и др.]; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Иркут. гос. ун-т путей сообщения». -

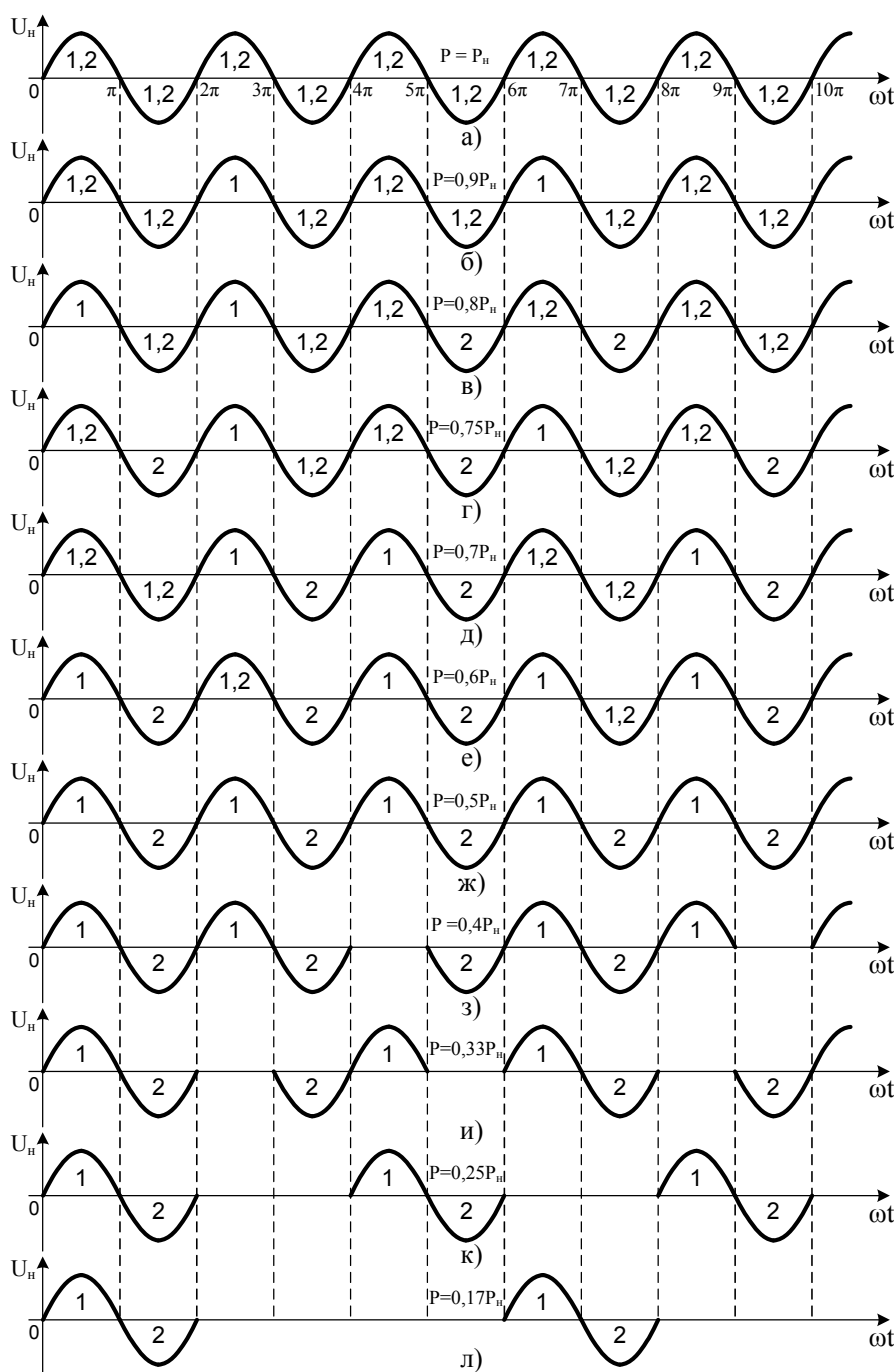


Рисунок 2 – Временные диаграммы напряжения на электронагревателях сушильной печи в режимах управления их мощностью преобразователем

№2007148737/07; заявл. 27.03.08; опубл. 27.08.11, Бюл. №24.

3 Астраханцев, Л.А. Исследование электронагревательной установки, управляемой полупроводниковыми преобразователями / Л.А. Астраханцев, В.А. Тихомиров, И.А. Тихомиров // Вестн. КрасГАУ. -2010. -№4. -С. 115-120.

4 Тихомиров, В.А. Исследование энергетических характеристик электронагревательной установки, оснащенной тиристорным преобразователем, с помощью MATLAB / В.А. Тихомиров // Перспективы развития транспорта в XXI веке: материалы I науч. межвуз. интернет-конф. / ИрГУПС. -Иркутск, 2007. -С. 112-116.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** полупроводниковый преобразователь, режимы управления, электросушильная печь  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Тихомиров Владимир Александрович, аспирант ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»

## **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

**ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»**

**В.А. Тюков, А.С. Замчалкин**

**MODERN COMPUTATIONAL METHODS OF DYNAMIC CONDITIONS OF INDUCTION MOTOR**

**«Novosibirsk state technical university»**

V.A. Tyukov, A.S. Zamchalkin

The possibility finite element modeling of dynamic conditions of induction motor taking into account rotation of a rotor in software package COMSOL Multiphysics is considered.

*Keywords: induction motor, numerical modeling, electromagnetic field, starting mode*

Рассмотрена возможность конечноэлементного моделирования динамических режимов асинхронных двигателей с учетом вращения ротора в программном пакете COMSOL Multiphysics.

Современный уровень развития силовой электроники и микропроцессорной техники позволил существенно расширить область применения асинхронных двигателей (АД) в отраслях водного и наземного транспорта. Благодаря своим несомненным преимуществам по надежности и стоимости АД широко используется на транспорте в качестве привода вспомогательных агрегатов, а так же в составе тяговых и тормозных систем. В таких системах АД работают чаще всего в динамических режимах, то есть переходный процесс является для них нормальным рабочим режимом. Это определяет необходимость более детального изучения электромеханических переходных процессов, протекающих в АД.

С учетом технических возможностей современных персональных компьютеров наиболее полную картину электромеханических процессов, протекающих в динамических режимах, можно получить путем совместного решения нелинейного и нестационарного уравнения для вектор-потенциала магнитного поля в активном объеме АД в двумерной постановке методом конечных элементов и систем уравнений электрических цепей для статора и ротора. Такая постановка задачи позволяет учесть конечную длину активного объема, а так же замыкание токов через лобовые части обмоток с конечным полным сопротивлением [1]. В настоящей статье, при моделировании процесса пуска АД 4A160S4У3, использовался программный продукт COMSOL Multiphysics разработки шведской компании COMSOL.

В общем случае, независимо от используемого программного продукта, процесс создания двухмерной модели АД примерно одинаков. Разделим расчетную область  $\Omega$  на подобласти  $\Omega^S$ ,  $\Omega^R$ ,  $\Omega_i^{W\pm}$ ,  $\Omega_i^{wr}$ ,  $\Omega^\delta$ . Подобласти  $\Omega^S$ ,  $\Omega^R$ , и  $\Omega^\delta$  принадлежат магнитопроводу статора, ротора и воздушному пространству соответственно. Поскольку пренебрежение потерями в стали шихтованного магнитопровода не оказывает существенного влияния на процесс пуска, удельную электрическую проводимость в этих под областях можно принять равной нулю.

Подобласти  $\Omega_i^{W\pm}$  принадлежат катушкам обмотки статора ( $i$ -номер катушки, «+»-направление намотки совпадает с направлением оси  $z$ , «-»-не совпадает). Обычно размеры поперечного сечения элементарного проводника катушки сопоставимы с толщиной скин-слоя при промышленной частоте, поэтому влиянием вихревых токов можно пренебречь, принимая удельную электрическую проводимость для этих под областей так же равной нулю. Подобласти, занятые обмоткой ротора типа «беличьей клетки»  $\Omega_i^{wr}$  ( $i$ -номер стержня), должны рассматриваться с учетом влияния вихревых токов.

В результате для выделенных под областей получаем:

$$\nabla \cdot \left( \mu_0^{-1} \mu_r (B)^{-1} \nabla A_z \right) = \begin{cases} 0 \left( \Omega^{S,R,\delta} \right); \\ \frac{\pm i_f N_k}{S_k} \left( \Omega_i^{W\pm} \right); \\ -\sigma \frac{\partial A_z}{\partial t} + \sigma \frac{\Delta V_{cm}}{l_{cm}} \left( \Omega_i^{wr} \right); \end{cases} \quad (1)$$

- где  $B$  – модуль вектора магнитной индукции;  
 $A_z$  – z компонента вектор-потенциала магнитного поля;  
 $\mu_0$  – магнитная проницаемость вакуума;  
 $\mu_r$  – относительная магнитная проницаемость (зависящая от модуля вектора магнитной индукции, если речь идет о нелинейных средах);  
 $N_k$  – число витков в катушке обмотки статора;  
 $S_k$  – суммарная площадь поперечного сечения эффективных проводников в катушке;  
 $\pm i_f$  – мгновенное значение тока параллельной ветви фазы статора ( $i_f$  обычно является неизвестным, так как его значение зависит от  $A_z$  и внешних элементов, связанных с обмоткой);  
« $\pm$ » – соответствует направлению намотки для подобласти  $\Omega_i^{W\pm}$ );  
 $\Delta V_{cm}$  – разность потенциалов стержня обмотки ротора на длине  $l_{cm}$  равной длине магнитопровода ротора (обычно также является неизвестной величиной);  
 $\sigma$  – удельная электрическая проводимость материала стержня ротора.  
Для трехфазной обмотки статора можно записать систему уравнений:

$$\begin{cases} u_A - u_B + L_\sigma \cdot \frac{di_A}{dt} + R \cdot i_A - L_\sigma \cdot \frac{di_B}{dt} - R \cdot i_B - e_A + e_B = 0; \\ u_B - u_C + L_\sigma \cdot \frac{di_B}{dt} + R \cdot i_B - L_\sigma \cdot \frac{di_C}{dt} - R \cdot i_C - e_B + e_C = 0; \\ i_A + i_B + i_C = 0, \end{cases} \quad (2)$$

- где  $R$  – омическое сопротивление фазы с учетом лобовых частей;  
 $L_\sigma$  – индуктивность рассеяния лобовых частей обмотки статора.

Наведенную в обмотке статора ЭДС  $e_f$  выразим через вектор-потенциал магнитного поля как

$$e_f = I_{np} \left[ \sum_{i=1}^{n_k} \frac{N_k}{S_k} \int_{\Omega_i^{w+}} \frac{\partial A_z}{\partial t} d\Omega - \sum_{i=1}^{n_k} \frac{N_k}{S_k} \int_{\Omega_i^{w-}} \frac{\partial A_z}{\partial t} d\Omega \right],$$

- где  $I_{np}$  – длина проводника в сердечнике статора;  
 $n_k$  – количество катушек в параллельной ветви.

Полный ток стержня ротора, может быть определен согласно (1) как

$$i_{cm} = \int_{\Omega_i^{wr}} \left( -\sigma \frac{\partial A_z}{\partial t} + \sigma \frac{\Delta V_{cm}}{l_{cm}} \right) d\Omega = - \int_{\Omega_i^{wr}} \sigma \frac{\partial A_z}{\partial t} d\Omega + \frac{\Delta V_{cm}}{r_{cm}},$$

откуда разность потенциалов стержня на длине  $l_{cm}$

$$\Delta V_{cm} = r_{cm} i_{cm} + r_{cm} \int_{\Omega_i^{wr}} \sigma \frac{\partial A_z}{\partial t} d\Omega = r_{cm} i_{cm} + e_{cm}, \quad (3)$$

- где  $S_{cm}$  – площадь поперечного сечения стержня ротора;  
 $r_{cm}$  – омическое сопротивление части стержня находящегося в пазу;  
 $e_{cm}$  – ЭДС наведенная в  $i$ -ом стержне.

Токи, полученные из решения системы дифференциальных уравнений, составленной аналогично (2) для обмотки ротора, соответствуют полным токам стержней ротора с учетом наличия короткозамыкающих колец, что позволяет, используя уравнение (3), определить разность потенциалов для каждой из подобластей  $\Omega_i^{wr}$ .

На каждом временном слое, по найденному распределению вектор-потенциала  $A_z(x, y, t)$  определяем  $B_x, B_y$  компоненты вектора магнитной индукции и  $H_x, H_y$  компоненты

напряженности магнитного поля во всем объеме электрической машины. Мгновенный электромагнитный момент, действующий на ротор, в соответствии с [2], теперь легко рассчитать как:

$$M_z = I_{cm} \oint_S (xT_{ny} - yT_{nx}) dS;$$

$$T_{nx} = -\frac{1}{2}(B_x H_x + B_y H_y) n_x + (n_x H_x + n_y H_y) B_x;$$

$$T_{ny} = -\frac{1}{2}(B_x H_x + B_y H_y) n_y + (n_x H_x + n_y H_y) B_y,$$

где  $x, y$  – координаты точки интегрирования;

$T_{nx}, T_{ny}$  –  $x, y$  компоненты вектора натяжения соответственно;

$n_x, n_y$  –  $x, y$  компоненты внешней нормали к поверхности  $S$ , охватываемой объем ротора.

Мгновенную угловую скорость ротора  $\omega_r$  находим из решения уравнения механического равновесия

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{M_z(t) - M_{cm}}{J_{np}},$$

где  $J_{np}$  – приведенный момент инерции;

$M_{cm}$  – момент нагрузки.

Вращение ротора учитывается с помощью технологии деформируемой конечноэлементной сетки «Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE)» доступной в COMSOL Multiphysics.

На рисунках 1 и 2 представлены временные зависимости электромагнитного момента, фазного тока и угловой скорости ротора АД 4A160S4У3 при прямом пуске с номинальной нагрузкой на валу равной 100 Н·м. Приведенные осциллограммы рассчитаны с помощью математической модели приведенной выше, с учетом реальной геометрии поперечного сечения активного объема АД, вращения ротора, нелинейной характеристики стали и вытеснением тока в стержнях ротора.

Выводы:

1 Использование метода конечных элементов и современного программного обеспечения, в частности COMSOL Multiphysics, позволяет выстраивать высокоадекватные математические модели АД.

2 Приведенный выше метод, позволяет достаточно точно описать работу АД в динами-

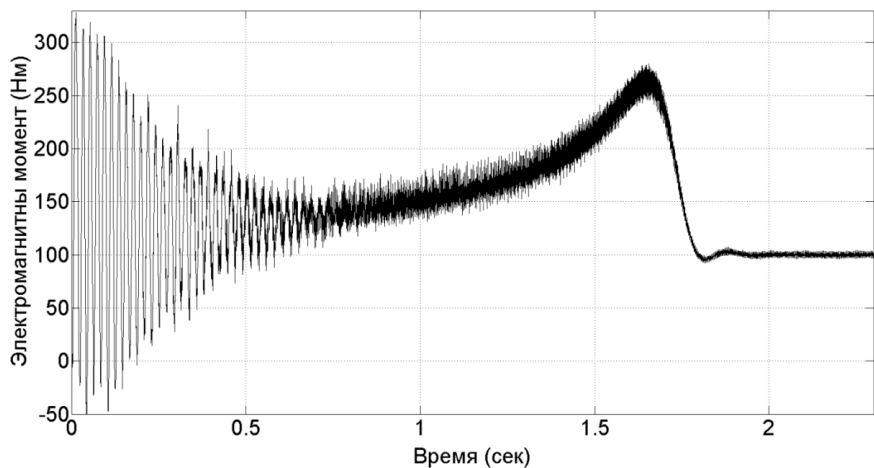


Рисунок 1 – Электромагнитный момент АД 4A160S4У3 при прямом пуске

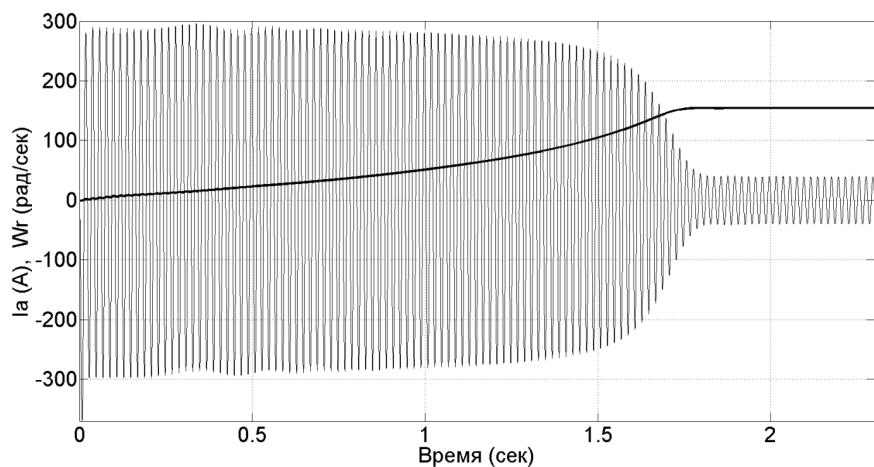


Рисунок 2 – Ток фазы А обмотки статора АД 4A160S4У3 при прямом пуске и угловая скорость ротора

ческих режимах, рассчитать необходимые характеристики АД (пусковые, рабочие токи и моменты; потери, полезную и потребляемую мощность) при любых видах нагрузки и напряжения питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 О новом подходе к проектированию электрических машин на основе численного моделирования / М.Г. Персова [и др.] // Электротехника. -2007. -№9. -С. 15-21.

2 Иванов-Смоленский, А.В. Электромагнитные силы и преобразование энергии в электрических машинах / А.В. Иванов-Смоленский. -М.: Высш. шк., 1989. -312 с.: ил.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** асинхронный двигатель, численное моделирование, электромагнитное поле, пусковой режим

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Тюков Валентин Андреевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НГТУ»

Замчалкин Александр Сергеевич, аспирант ФГБОУ ВПО «НГТУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

## **ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОВОДЯЩИХ ЧАСТИЦ В ПЕРКОЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

**ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»**

**Омский институт водного транспорта, филиал ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»**

**О.А. Малаенко, С.И. Петров**

### **ELECTRICAL PROPERTIES OF CONDUCTIVE PARTICLES IN PERCOLATION SYSTEMS**

**«Novosibirsk state academy of water transport»**

**Omsk institute of water transport, branch «Novosibirsk state academy of water transport»**

**O.A. Malaenko, S.I. Petrov**

The article considers possibility of measuring dielectric and magnetic permeability of conductive rubbers according to the percolation system theory. These data depend on the shape of conglomerate and the magnetic field direction.

*Keywords: carbon black, percolation system, magnetic permeability, dielectric permeability, cluster*

Рассмотрена возможность измерения диэлектрической и магнитной проницаемости электропроводных резин в соответствии с теорией перколяционных систем и зависимость данных величин от формы частиц и направления магнитного поля.

Электропроводящие резины вызывают все больший интерес в связи с применением их в различных областях производства. В статье рассматриваются некоторые особенности поведения электропроводящих резин в условиях переменного электромагнитного поля. Резины подобного типа представляют собой композитные материалы, в которых существует сложная система каналов проводимости, обладающих большой индуктивностью. Можно утверждать, что любой тип резин, обладающих той или иной степенью проводимости, представляет собой бесконечный кластер со свойствами перколяционной системы. При введении проводящих добавок в кластер происходит постепенное заполнение перколяционной системы и придание ей как электрических, так и магнитных свойств. Если количество вводимых проводящих добавок  $p$  меньше критического значения  $p_c$ , то система считается искусственным диэлектриком, а при превышении данного значения она начинает проводить ток.

Исследования распространения электромагнитной волны в проводящих резинах показали, что при длине волны  $\lambda_0$  меньше корреляционного радиуса  $\xi$  ( $\lambda_0 < \xi$ ) отмечается ее сильное рассеивание, а при  $\lambda_0 > \xi$  ее свойства хорошо описываются уравнениями Максвелла. Из этих уравнений можно вычислить эффективную диэлектрическую и магнитную проницаемости  $\varepsilon_{эф}$  и  $\mu_{эф}$ , и проанализировать влияние скин-эффекта на формирование частотных зависимостей у данных величин.

В настоящее время для исследования электрофизических свойств перколяционных систем широкое распространение получили методы численного эксперимента и ренормализационной группы [2, 3], так как их применение хорошо согласуется с модельными решетчатыми системами. Наиболее распространенным аналитическим методом расчета электрофизических параметров, позволяющим учесть особенности реальных перколяционных систем, является метод приближения эффективной среды [1, 4]. При построении теории эффектив-

ной среды, а также во всех других описанных в литературе методах расчета эффективных параметров неупорядоченных систем используется условие потенциальности электрического и магнитного полей. Переменное поле необходимо рассматривать как потенциальное на масштабах  $l$ , если в каждой точке  $\vec{r}$  области пространства с линейным размером  $l$  выполнено условие

$$l \ll \frac{\bar{\lambda}_0}{\sqrt{\hat{\varepsilon}(\vec{r}) \cdot \hat{\mu}(\vec{r})}}, \quad (1)$$

где  $\hat{\varepsilon}(\vec{r})$  – локальная диэлектрическая проницаемость;  
 $\hat{\mu}(\vec{r})$  – локальная магнитная проницаемость.

Если размер  $l$  экспериментального поля много больше характерного размера неоднородности диэлектрической и магнитной проницаемостей, то необходимо провести стандартную процедуру усреднения уравнений Максвелла. Эффективные параметры  $\hat{\varepsilon}_{эф}$  и  $\hat{\mu}_{эф}$ , входящие в усредненные уравнения Максвелла, находятся из соотношений:

$$\begin{aligned} \langle \vec{D}(\vec{r}) \rangle &= \langle \hat{\varepsilon}(\vec{r}) \cdot \vec{E}(\vec{r}) \rangle = \hat{\varepsilon}_{эф} \langle \vec{E}(\vec{r}) \rangle; \\ \langle \vec{B}(\vec{r}) \rangle &= \langle \hat{\mu}(\vec{r}) \cdot \vec{H}(\vec{r}) \rangle = \hat{\mu}_{эф} \langle \vec{H}(\vec{r}) \rangle, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\vec{E}(\vec{r}), \vec{H}(\vec{r})$  – распределение электрического и магнитного полей в системе.

Необходимо отметить, что при существовании сильного скин-эффекта в электротехническом материале (проводящей резине), подобное усреднение величин не всегда оправдано и к его применению необходимо подходить избирательно.

Важную роль в величинах  $\hat{\varepsilon}_{эф}$  и  $\hat{\mu}_{эф}$  играет форма добавок, вводимых в композитные перколяционные системы. Наиболее простым является случай, когда в качестве добавок выступают сферические проводящие частицы. В примере с электропроводящими резинами в большинстве случаев в качестве подобных добавок выступают частицы углерода (могут быть и металлические включения).

Учет взаимодействия проводящих включений в подобном случае можно провести, если предположить, что влияние на определенную частицу всех остальных сводится к замене воздействия последних однородной средой с эффективными параметрами  $\hat{\varepsilon}_{эф}$  и  $\hat{\mu}_{эф}$ . Условием определения эффективных значений диэлектрической и магнитной проницаемостей является равенство электромагнитных полей вне перколяционной системы и вне геометрически эквивалентной однородной системы с диэлектрической и магнитной проницаемостями. Для композитного материала, содержащего  $n$  проводящих и диэлектрических компонентов с объемными концентрациями  $p_i$  справедливы следующие уравнения для определения эффективных параметров:

$$\sum_{i=1}^n p_i \hat{\alpha}_i^e(\hat{\varepsilon}_{эф}, \hat{\mu}_{эф}) = 0; \quad \sum_{i=1}^n p_i \hat{\alpha}_i^m(\hat{\varepsilon}_{эф}, \hat{\mu}_{эф}) = 0, \quad (3)$$

где  $\hat{\alpha}_i^e, \hat{\alpha}_i^m$  – поляризуемости частиц, находящихся в среде с параметрами  $\hat{\varepsilon}_{эф}$  и  $\hat{\mu}_{эф}$ .

Для частиц сферической формы получено выражение [4]:

$$\sum_{i=1}^n \frac{p_i (\hat{\mu}_{эф} - \bar{\mu}_i)}{2\hat{\mu}_{эф} + \bar{\mu}_i} = 0; \quad \sum_{i=1}^n \frac{p_i (\hat{\varepsilon}_{эф} - \bar{\varepsilon}_i)}{2\hat{\varepsilon}_{эф} + \bar{\varepsilon}_i} = 0, \quad (4)$$

где  $\bar{\mu}_i, \bar{\varepsilon}_i$  – магнитная и диэлектрическая проницаемости  $i$ -ой частицы.

Полученные уравнения для  $\hat{\varepsilon}_{эф}$  и  $\hat{\mu}_{эф}$  по форме совпадают с аналогичными уравнениями традиционного метода эффективной среды [1, 4]. Отличие заключается в том, что скин-эффект приводит к перенормировке диэлектрической и магнитной проницаемостей проводящего компонента. Если электропроводные резины находятся в высокочастотном поле, то  $\bar{\mu}$  и  $\bar{\varepsilon} \rightarrow 0$  при любых собственных характеристиках проводящих частиц. Это существенно сказывается на частотных зависимостях эффективных параметров подобных композитных материалов.

Наиболее часто проводящие частицы (технический углерод или металл) образуют conglomerates различной формы. Некоторые из них могут иметь форму напоминающую эллипсоид, то есть их размер в выбранном направлении значительно превышает перпендикулярный размер образования. При внесении в магнитное поле подобных композиционных материалов проводящие эллипсоиды выстраиваются в определенном направлении.



Для таких систем эффективная диэлектрическая проницаемость  $\hat{\epsilon}_{эф}$  также, как и для систем с шаровыми включениями, определяется равенством нулю суммарной поляризуемости. Необходимо отметить, что в рассматриваемом случае эллипсоидов, направленных в одну сторону, эффективная диэлектрическая проницаемость анизотропна: диэлектрическая проницаемость  $\hat{\epsilon}_{эф}$  (как и магнитная проницаемость), измеренная вдоль иголок, отличается от значения  $\hat{\epsilon}_{эф}$  в перпендикулярном направлении. Соответственно возникают уравнения для определения данных параметров:

– параллельно эллиптическим образованиям

$$\sum_{i=1}^n \frac{\rho_i \left( \frac{\bar{\epsilon}_i}{\hat{\epsilon}_{эф} - 1} \right)}{\bar{n}_i \left( \frac{\bar{\epsilon}_i}{\hat{\epsilon}_{эф} - 1} \right)} = 0; \quad (5)$$

– перпендикулярно эллиптическим образованиям

$$\sum_{i=1}^n \frac{\rho_i \left( \frac{\bar{\mu}_i}{\hat{\mu}_{эф} - 1} \right)}{\bar{n}_i \left( \frac{\hat{\mu}_i}{\hat{\mu}_{эф} - 1} \right)} = 0, \quad (6)$$

где  $\bar{n}_i$  – эффективные факторы деполяризации эллипсоида в анизотропной среде.

В каждую из формул необходимо подставлять измеренные для данного случая значения  $\bar{n}_i, \hat{\epsilon}_{эф}, \bar{\epsilon}_i, \bar{\mu}_i, \hat{\mu}_{эф}$ , так как их величины при параллельном и перпендикулярном распространении магнитного поля существенно различаются.

При выводе соотношений не учитывались соленоидальные составляющие рассеянных полей. Это обусловлено тем, что в приближении эффективной среды токи в различных эллипсоидных образованиях не коррелированы и их взаимная индуктивность не вносит вклад во внутреннюю индуктивность системы.

Соотношения, аналогичные приведенным выше, можно получить и для эффективных магнитных параметров композитных материалов заменой  $\hat{\epsilon}_{эф}$  и  $\bar{\epsilon}_i$  на соответствующие значения  $\hat{\mu}_{эф}$  и  $\bar{\mu}_i$ . Отличие состоит в том, что в соответствующем выражении типа отсутствуют логарифмические члены. Это связано с тем, что соленоидальные поля вокруг эллипса, помещенного в переменное магнитное поле, частично подавляются и их значениями можно пренебречь.

Индуктивные эффекты, обусловленные внешними соленоидальными полями для вытянутых проводящих включений, приводят к радикальному изменению дисперсионной зависимости диэлектрической проницаемости по сравнению со случаем систем, содержащих проводящие элементы сферической формы. С ростом частоты действительная часть диэлектрической проницаемости может уменьшаться (вплоть до отрицательных значений). А у мнимой части может возникать четко выраженный резонансный максимум [4].

Следует отметить, что возникновение резонансных явлений наблюдается при длине волн, сопоставимой с длиной эллиптического образования. Конгломераты проводящих частиц в композитных материалах всегда имеют конечное значение и поэтому данные формулы не могут быть применены к высокочастотным полям.

При постепенном росте величины проводящего кластера у него наблюдается все большее влияние скин-эффекта на отдельную проводящую частицу и это в свою очередь изменяет частотную зависимость  $\hat{\mu}_{эф}$ . При достижении определенного критического значения  $\rho_c$  магнитная проницаемость может значительно уменьшиться, а в некоторых случаях даже обратиться в ноль.

При достижении определенного размера проводящего конгломерата частиц в композитном материале можно отметить все большую зависимость  $\hat{\mu}_{эф}$  от их тепловых флуктуаций. Это оказывает наиболее сильное влияние на значения  $\hat{\mu}_{эф}$ , вычисленные при перпендикулярных измерениях. В подобном случае наблюдается размывание резонансных явлений [2].

Вывод: Электротехнические резины могут испытывать различные внешние воздействия во время эксплуатации (растяжения, сжатия и т.д.). При этом проводящие конгломераты, находящиеся внутри композитного материала, способны изменять свою направленность.

Как было показано выше, диэлектрическая и магнитная проницаемости изделия сильно зависят от ориентации проводящих элементов внутри него.

Возникновение резонансных явлений, особенно у изделий, имеющих эллиптические проводящие элементы в составе, способно значительно изменить диэлектрическую и магнитную проницаемости. Поэтому при использовании того или иного композитного материала необходимо тщательно проанализировать его свойства и лишь после этого рекомендовать его к применению.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Bowman, D.R. Divergent Diamagnetism in Superconducting and Normal Metal Composites Near the Percolation Threshold / D.R. Bowman, D. Stroud // Phys. Rev. Lett. -1984. -Vol. 52. -P. 299.
- 2 Лагарьков, А. Н. Эффективная магнитная проницаемость композитных материалов вблизи порога протекания / А.Н. Лагарьков, Л.В. Панина, А.К. Сарычев // ЖЭТФ. -1987. -Т.93, Вып. 1(7). -С. 215-221.
- 3 Петров, Ю.И. Кластеры и малые частицы / Ю.И. Петров. -М.: Наука, 1986. -283 с.
- 4 Электрофизические свойства перколяционных систем / под. ред. А.Н. Лагарькова. -М.: Наука, 1990. -340 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** проводящие резины, перколяционная система, магнитная проницаемость, диэлектрическая проницаемость, кластер

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Малаенко Олег Анатольевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Петров Святослав Иванович, канд. техн. наук, доцент ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щеткина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
644043, г. Омск, ул. И. Алексеева, 4, ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНДУКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ ПО УСТАНОВИВШЕМОМУ ОТКЛОНЕНИЮ НАПРЯЖЕНИЯ В СУДОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Омский институт водного транспорта, филиал ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**Ю.М. Денчик, Д.А. Зубанов, В.И. Клеутин, А.А. Руппель, А.А. Сидоренко**

**METHOD FOR DETERMINATION OF CONDUCTIVE ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE ON THE STEADY-STATE VOLTAGE DEVIATION IN THE SHIP'S ELECTRICAL NETWORK**

«Novosibirsk state academy of water transport»

Omsk institute of water transport, branch «Novosibirsk state academy of water transport»

Ju.M. Denchik, D.A. Zubanov, V.I. Kleutin, A.A. Sidorenko, A.A. Ruppel

A method for determination of conducted electromagnetic interference on the steady-state voltage deviation in the ship's electrical network.

*Keywords: indicators of quality of electric power, technique, conductive interference, the probability density plot, quantile, algorithm*

Представлена методика определения кондуктивных электромагнитных помех по установившемуся отклонению напряжения в судовой электрической сети.

Анализ отечественных и зарубежных исследований в области электромагнитной совместимости (ЭМС) показывает, отсутствие методики определения кондуктивных электромагнитных помех (ЭМП) в судовых электрических сетях (СЭС). Представленная ниже методика является развитием статистических методов определения кондуктивных ЭМП разработанных В.Г. Сальниковым и Е.В. Ивановой применительно к специфике СЭС [1].

Требования к показателям качества электроэнергии (ПКЭ) в СЭС для судов внутреннего плавания нормируются Правилами классификации и постройки судов внутреннего плавания Российского Речного Регистра (ПСВП РРР) [2].

В пункте 2.2.1 третьего тома ПСВП РРР установлены уровни ЭМС в СЭС по установившемуся отклонению напряжения ( $\delta U_y, \%$ ), которые характеризуются длительно допустимым значением ( $\delta U_{y,d}, \%$ ) и кратковременно допустимым значением ( $\delta U_{y,k}, \%$ ) (таблица 1).

Однако ЭМС обеспечивается в том случае, если усредненные (интегрированные) оценки  $\delta U_y$  не выходят за длительно допустимый уровень, а в течение не более 1,5 с не выходят за пределы кратковременно допустимого значения. Время и методы измерений в ПСВП РРР не нормируются, но есть рекомендации руководствоваться в таких случаях требованиями ГОСТ 13109 и РД 153-34.0-15.501 [2-4].

Таблица 1 – Нормы отклонения напряжения и частоты от номинальных значений в СЭС

Параметр	Отклонение от номинальных значений, %		Продолжительность кратковременного отклонения, с
	длительное $\delta U_{y,d}$	кратковременное $\delta U_{y,k}$	
Напряжение	+6 -10	+15 -30	1,5
Частота	$\pm 5$	$\pm 10$	5,0

Величина  $\delta U_y$  в СЭС является случайной величиной, связана с полем событий и характеризуется таблицей вероятностей

$$\left( \begin{array}{c} \delta U_{y1}; \delta U_{y2}; \delta U_{y3}; \dots; \delta U_{yn} \\ P_1; P_2; P_3; \dots; P_n \end{array} \right), \quad (1)$$

где  $\delta U_{y1}, \delta U_{y2}, \delta U_{y3}, \dots, \delta U_{yn}$  – различные значения  $\delta U_y$  в течение времени измерений;

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  – вероятности появления значений  $\delta U_y$ .

При превышении допустимых значений установившегося значения напряжения  $\delta U_y$  часть поля событий (1) обуславливает кондуктивную ЭМП, вызванную особенностями технологического процесса производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии на судне. Достоверное значение этой ЭМП может быть определено только статистическими методами [2].

Процесс возникновения кондуктивной ЭМП представляется математической моделью

$$\delta U_y \left[ P(\delta U_{y,k-} < \delta U_y < \delta U_{y,k+}) \neq 0; P(\delta U_{y,d-} < \delta U_y < \delta U_{y,d+}) \neq 0 \right] \subset \delta U'_y, \quad (2)$$

где  $\delta U'_y$  – кондуктивная ЭМП по установившемуся значению напряжения, в СЭС, %;

$\delta U_{y,k-}$  – установившиеся значения напряжения менее 30% от  $U_n$  продолжительностью более 1,5 с;

$\delta U_{y,k+}$  – установившиеся значения напряжения более 15% от  $U_n$  продолжительностью более 1,5 с;

$\delta U_{y,d-}$  – установившиеся значения напряжения менее 10% от  $U_n$ ;

$\delta U_{y,d+}$  – установившиеся значения напряжения более 6% от  $U_n$ .

Таким образом, кондуктивная ЭМП  $\delta U'_y$  появляется в СЭС тогда, когда вероятность нахождения  $\delta U_y$  за указанными пределами не равна нулю. Эта кондуктивная ЭМП также появляется при выполнении только одного условия, является производящей функцией непрерывно распределенной случайной величины  $\delta U_y$  [1].

Интегральная функция распределения случайной величины  $\delta U_y$  в интервале  $(\delta U_{y,k-}; \delta U_{y,k+})$  определяется по формуле

$$P(\delta U_{y,k-} < \delta U_y < \delta U_{y,k+}) = \int_{\delta U_{y,k-}}^{\delta U_{y,k+}} \psi(\delta U_y) d(\delta U_y), \quad (3)$$

где  $\psi(\delta U_y)$  – плотность вероятности распределения величины  $\delta U_y$ , %.

Такая же функция в промежутке  $(\delta U_{y,d-}; \delta U_{y,d+})$  описывается формулой

$$P(\delta U_{y,d-} < \delta U_y < \delta U_{y,d+}) = \int_{\delta U_{y,d-}}^{\delta U_{y,d+}} \psi(\delta U_y) d(\delta U_y). \quad (4)$$

При выполнении статистической обработки результатов измерений случайная величина  $\delta U_y$  представляется в виде гистограммы (рисунок 1) в которой число квантилей зависит от числа измерений, дисперсии и  $U_n$  и выбирается таким образом, чтобы граница квантиля совпадала с границей нормируемого значения, а их количество было минимальным для заданной точности расчета [5].

Далее определяется вероятность  $P(\delta U_y)$  для каждого квантиля и в соответствии с выражением (4) вычисляется вероятность кондуктивной ЭМП  $P(\delta U'_y)$  (таблица 2). Вероятность нахождения величины  $\delta U_y$  ниже границы 360 В  $P(\delta U'_y) = 64,84\%$ .

Variable: Var1    Mean: 366,917    Sigma: 28,8741  
 LSL=360,00, Nominal=400,00, USL=424,00

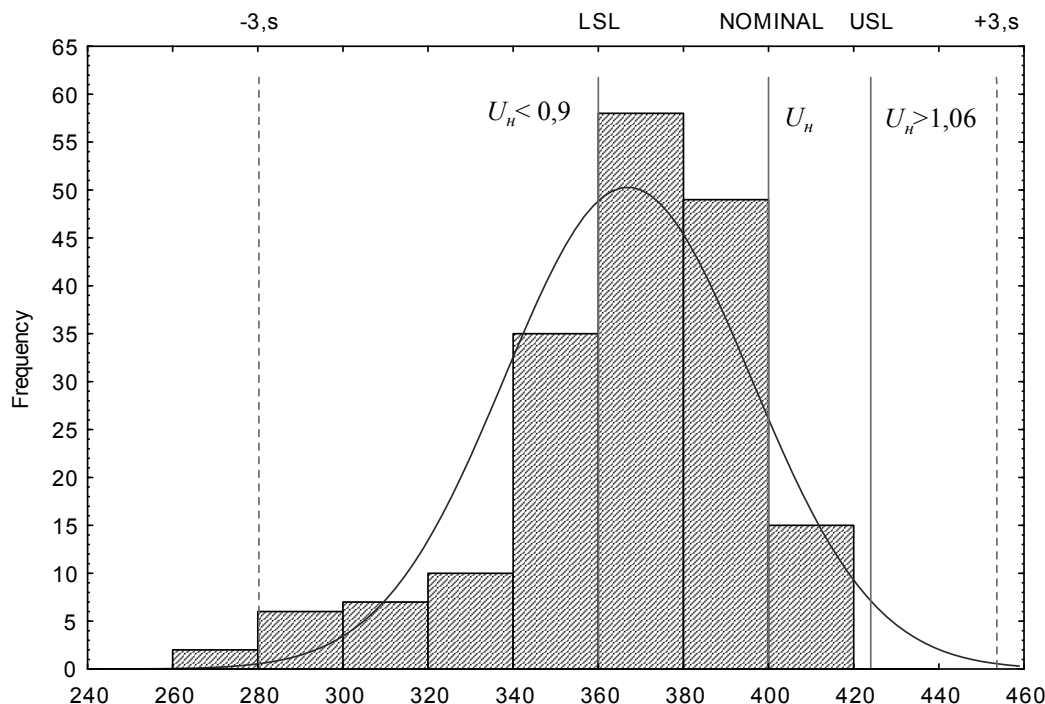


Рисунок 1 – График плотности вероятности распределения  $\psi(\delta U_y)$  совмещенный с нормируемыми значениями уровней ЭМС в СЭС, соответствующий нормальному распределению с вероятностью 0,89

Таблица 2 – Расчет вероятности квантилей гистограммы

При необходимости по форме гистограммы может быть поставлена гипотеза о законе распределения установившегося отклонения напряжения  $\delta U_y$  в СЭС. При циклическом характере работы судовых механизмов это, как правило, нормальный закон распределения (см. рисунок 1).

Интервал, В		Число попаданий в интервал, n	Вероятность, p, %
от	до		
260	280	12	1,10
280	300	24	3,30
300	320	27	3,85
320	340	36	5,49
340	360	114	19,23
360	380	183	31,87
380	400	153	26,92
400	420	51	8,24
Всего		600	100,00

При нормальном законе распределения плотность вероятности распределения коэффициента  $\delta U_y$  определяются по формуле

$$\psi(\delta U_y) = \varphi\{\delta U_y; M[\delta U_y]; \sigma[\delta U_y]\} = \frac{1}{\sigma[\delta U_y] \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\delta U_y - M[\delta U_y])^2}{2\{\sigma[\delta U_y]\}^2}\right], \quad (5)$$

где  $M[\delta U_y]$  – математическое ожидание, %;

$\sigma[\delta U_y]$  – среднее квадратическое отклонение, %.

Кондуктивная ЭМП  $\delta U'_y$ , как производящая функция  $\delta U_y$ , обладает на основании теоремы о равенстве начальных моментов и следствия о равенстве центральных моментов свойствами:

$$M[\delta U'_y] = M[\delta U_y]; \quad \sigma[\delta U'_y] = \sigma[\delta U_y], \quad (6)$$

а на основании следствия из теоремы единственности и теоремы непрерывности теории производящих функций характеризуется равенством [1]

$$\varphi\{\delta U_y; M[\delta U_y]; \sigma[\delta U_y]\} = \varphi\{\delta U'_y; M[\delta U'_y]; \sigma[\delta U'_y]\}, \quad (7)$$

Таким образом, рассмотренный алгоритм расчета кондуктивной ЭМП  $\delta U'_y$  позволяет по-

высить помехоустойчивость СЭС путем воздействия на стохастические характеристики случайного процесса и может использоваться при исследованиях электромагнитной обстановки в СЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Иванова, Е.В. Методика определения кондуктивной электромагнитной помехи в электрической сети / Е.В. Иванова // Вестн. ПТУ. -Павлодар, 2004. -№1. -С. 102-113.
- 2 Российский Речной Регистр. Правила. В 4 т. Т. 3. / отв. за вып. Н.А. Ефремов. -М.: Рос. Реч. Регистр, 2009. -454 с.
- 3 ГОСТ 13109. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Введ. 01-01.1999. -М.: ИПК, 1998. -33 с.
- 4 Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: РД 153-34.0-15.501-00: утв. 27.12.00. -М.: Энергосервис, 2004. -38 с.
- 5 Определение параметров кондуктивных электромагнитных помех, распространяющихся по сетям общего назначения / Ю.М. Денчик [и др.] // Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии: сб. докл. 1 науч.-практ. семинара с междунар. участием в рамках выставки «Энергосбережение. Отопление. Вентиляция. Водоснабжение в промышленности и ЖКХ», 11-13 мая 2011 г. / ЗАО «Урал. выставки». -Екатеринбург, 2011. -С. 95-99.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *показатели качества электроэнергии, методика, кондуктивная помеха, график плотности вероятности, квантиль, алгоритм расчета*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

*Зубанов Дмитрий Александрович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

*Клеутин Владислав Иванович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

*Руппель Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

*Сидоренко Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

*644043, г. Омск, ул. И. Алексеева, 4, ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## **ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КОЛЛЕКТОРА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИБОРОМ ПКП-4М**

**ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»**

**В.В. Харламов, П.К. Шкодун, Д.А. Ахунув**

**CERTAINTY VALUE OF CONTROL OF COMMUTATOR WORKING SURFACE CONDITION OF TRACTION ELECTRIC MOTORS BY MEANS OF PKP-4M DEVICE**

**«Omsk state transport university»**

**V.V. Harlamov, P.K. Shkodun, D.A. Akhunov**

In this article results of math processing of experimental data of error estimation are shown which could be used for commutator structural section estimating of traction electric motors with noncontact vortex-current method.

*Keywords: commutator structural section, vortex-current method, commutator frequency, surface analyzer, analog data digitizer, complete factorial, response function, numerical scheme*

Приведены результаты математической обработки экспериментальных данных определения погрешности при оценке состояния профиля коллектора тяговых электродвигателей бесконтактным вихретоковым методом.

На взаимодействие щетки и коллектора в машинах постоянного тока существенное влияние оказывает микрорельеф коллектора. Данное взаимодействие может носить различный характер. При наличии эксцентриситета или эллипсности коллектора перемещение щетки относительно щеткодержателя происходит с одинаковой периодичностью и, как правило, с достаточно большой амплитудой, однако, контакт щетки и коллектора при этом может оставаться стабильным. Более сложное воздействие на скользящий контакт оказывают небольшие неровности коллектора, выступание или западание отдельных коллекторных пластин [1]. Подобного рода дефекты коллектора могут привести к ослаблению контактного нажатия, что, в свою очередь, приводит к повышению уровня искрения вплоть до возникновения кругового огня по поверхности коллектора. Таким образом, повышение достоверности контроля профиля коллектора является важной задачей.

Оценка микрогеометрии коллектора тяговых электродвигателей (ТЭД) в процессе испытаний может производиться бесконтактным вихретоковым методом, например с применением разработанного на кафедре «Электрические машины и общая электротехника» ОмГУП-

Са прибора ПКП-4М [2]. Датчик прибора при этом размещается в щеткодержателе и закрепляется над поверхностью коллектора с требуемым зазором. Основными факторами, оказывающими влияние на результат измерения, наряду с характеристиками прибора являются: установленный между поверхностью коллектора и активной частью датчика зазор, коллекторная частота, то есть частота прохождения коллекторных пластин под датчиком и ширина ламели. Влияние первого и третьего фактора на величину методической погрешности, вносимой при проведении измерений, обусловлено локальными свойствами вихретокового датчика.

Для достижения требуемой точности контроля профиля коллектора той или иной машины необходимо установить степень влияния этих факторов.

Для решения поставленной задачи спланирован и в лабораторных условиях проведен эксперимент, позволяющий определить зависимость между влияющими на достоверность измерения факторами, такими как зазор между датчиком и поверхностью коллектора  $\delta$ , коллекторная частота  $n_k$ , а также ширина ламели  $b$  и методической погрешностью измерения  $\Delta$ , являющейся откликом.

Для удобства записи условий проведения эксперимента, а также обработки экспериментальных данных уровни факторов пересчитаны в относительные единицы. Принятые в исследовании уровни и интервалы варьирования входных параметров эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Кодовое обозначение	Интервал варьирования	Натуральные значения уровней факторов, соответствующие кодированным				
			+1,682	+1	0	-1	-1,682
$b$ , мм	$x_1$	1	6	5	4	3	2
$n_k$ , Гц	$x_2$	500	1841	1500	1000	500	159
$\delta$ , мкм	$x_3$	35	124	100	65	30	6

Для реализации плана эксперимента создана экспериментальная установка (рисунок 1), которая включает в себя приводной электродвигатель, макет коллектора, имеющий различные по ширине ламели, прибор контроля профиля коллектора ПКП-4М с бесконтактным вихретоковым датчиком ВД [2], аналого-цифровой преобразователь АЦП с частотой дискретизации 100 кГц, электронный осциллограф ЭО, компьютер ЭВМ. Для контроля частоты вращения исследуемого коллектора на одном валу с приводным электродвигателем установлен тахогенератор ТГ.

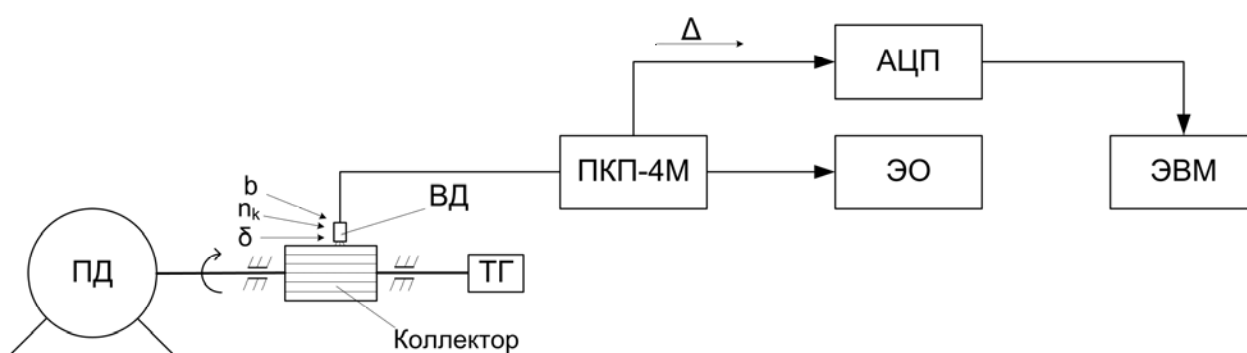


Рисунок 1 – Структурная схема экспериментальной установки

В соответствии с планом эксперимента устанавливали заданные значения входных параметров. Величина зазора между вихретоковым датчиком и поверхностью коллектора регулировалась микрометрическим винтом. Варьирование коллекторной частоты осуществлялось при помощи изменения сопротивления реостата, установленного в цепи возбуждения приводного электродвигателя ПД. Макет коллектора экспериментальной установки имеет в своем составе коллекторные пластины заданной ширины (в соответствии с таблицей 1).

Непрерывная обработка аналогового сигнала с выхода прибора ПКП-4М производилась аналого-цифровым преобразователем с частотой дискретизации 100 кГц после установки входных параметров на требуемые уровни. На рисунке 2 представлен фрагмент реального

сигнала с выхода прибора. Вследствие краевого эффекта вихретокового датчика сигнал от каждой коллекторной пластины имеет колоколообразную форму. Однако при определении профиля коллектора интерес представляет не форма этого сигнала, а его амплитудное значение. Результаты измерений в виде массивов числовых значений передавались на компьютер для дальнейшей обработки.

Обработка исходных данных заключалась в нахождении максимальных значений функции, представленной на рисунке 2, соответствующих высотам коллекторных пластин. Далее определялась относительная высота коллекторных пластин как разность высоты каждой последующей коллекторной пластины и базовой высоты пластины. В качестве базовой принято значение

$U, \text{ мВ}$

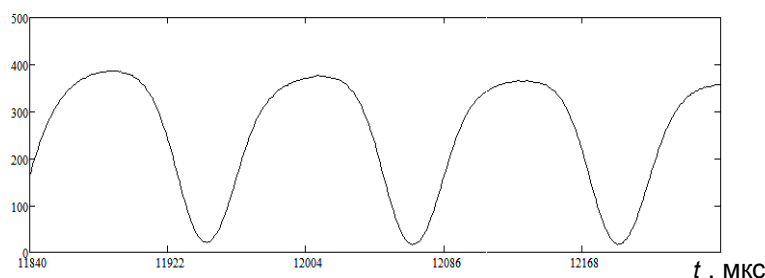


Рисунок 2 – Фрагмент сигнала профиля коллектора

высоты, соответствующее ламели шириной 7 мм, поскольку при таком значении ширины локальность датчика не вносит существенной погрешности. Использование в расчетах значений относительных высот коллекторных пластин позволяет значительно снизить погрешность определения функции отклика, связанную с вибрацией экспериментальной установки и инерционными свойствами профилометра. Результирующая методическая погрешность определена как разность относительных высот ламелей, измеренных в заданных условиях согласно плану и высот ламелей, измеренных в априорно лучших условиях с точки зрения влияния на результат измерения. Такими условиями являются минимальный зазор, а также минимальная частота вращения ПД.

Для аппроксимации функции отклика  $\Delta = f(b, n_k, \delta)$  применен полином второй степени вида

$$y = b_{00} + b_{01}x_1 + b_{02}x_2 + b_{03}x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2. \quad (1)$$

Эксперимент проведен по программе центрального ротатабельного планирования второго порядка [3]. Ротатабельность плана позволяет получить модель, способную предсказывать значение параметра оптимизации с одинаковой точностью независимо от направления на равных расстояниях от центра плана. Центральный композиционный ротатабельный план второго порядка состоит из плана полного факторного эксперимента типа 2<sup>3</sup>, шести опытов в «звездных точках» и опыта в центре плана.

Для оценки воспроизводимости результатов эксперимента выполнены шесть параллельных опытов в нулевой точке. При постановке опытов в центре плана все влияющие факторы находились на нулевых уровнях (см таблицу 1). По результатам этих опытов вычислена дисперсия воспроизводимости эксперимента 56,872.

По результатам эксперимента, выполненного в соответствии с принятым планом, получена оценка коэффициентов уравнения регрессии (1), используя метод наименьших квадратов (таблица 2) [3].

Дисперсии полученных коэффициентов равны 2,844.

Для проверки значимости коэффициентов уравнения регрессии использовался  $t$ -критерий Стьюдента, который для коэффициентов уравнения (1) приведен в таблице 3.

Сравнив полученные расчетные значения критерия Стьюдента с табличным при 5%-ном уровне значимости и числом степеней свободы равным 5, оказалось, что значения  $t_{p02}, t_{p11}, t_{p12}, t_{p22}, t_{p23}$  меньше табличного, поэтому коэффициенты  $b_{02}, b_{11}, b_{12}, b_{22}, b_{23}$  следует

Таблица 2 – Значения коэффициентов  $b_{ij}$  уравнения регрессии (1)

$i \backslash j$	0	1	2	3
0	12,932	-10,197	1,8	18,806
1		1,376	-0,678	-14,34
2			2,128	-0,72
3				9,701

Таблица 3 –  $t$ -критерий Стьюдента  $t_{p_{ij}}$  для проверки значимости коэффициентов уравнения регрессии (1)

$i \backslash j$	0	1	2	3
0	7,669	6,041	1,068	11,152
1		0,816	0,402	8,504
2			1,262	0,427
3				5,753

признать статистически незначимыми и исключить из уравнения регрессии. После исключения незначимых коэффициентов уравнение (1) принимает вид

$$y = b_{00} + b_{01}x_1 + b_{03}x_3 + b_{13}x_1x_3 + b_{33}x_3^2. \quad (2)$$

Так как среди незначимых оказались коэффициенты при квадратичных членах, то коэффициенты уравнения (2) были пересчитаны с использованием метода наименьших квадратов.

Таким образом, для установления зависимости методической погрешности при определении профиля коллектора от трех факторов, наиболее влияющих на результат измерения, используя ротатабельное планирование второго порядка, было получено следующее уравнение регрессии

$$y = 13,503 - 8,705 x_1 + 18,806 x_3 - 14,331 x_1 x_3 + 9,618 x_3^2. \quad (3)$$

Расчет с помощью критерия Фишера показал, что расчётное значение  $F$ -критерия  $F_p = 3,397$  меньше табличного  $F_m = 4,74$  при 5%-ном уровне значимости. Следовательно, математическую модель (3) можно считать адекватной. Поверхность отклика представлена на рисунке 3.

В процессе расчета математической модели из уравнения регрессии (2) был исключен такой фактор как коллекторная частота. Это объясняется тем, что даже при частоте следования импульсов от коллекторных пластин 1840 Гц, при использовании АЦП с частотой дискретизации 100 кГц, на каждую ламель приходится 54 значения, что позволяет достаточно точно определять амплитуду импульсов от коллекторных пластин (см. рисунок 2).

Кодированные значения факторов связаны с натуральными следующими зависимостями

$$x_1 = \frac{b - b_0}{\varepsilon_1} = \frac{b - 4}{1}; \quad x_3 = \frac{\delta - \delta_0}{\varepsilon_2} = \frac{\delta - 65}{35},$$

где  $b_0, \delta_0$  – основные уровни факторов в натуральных единицах;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – интервалы варьирования факторов (см. таблицу 1).

Переходя от кодированных  $x_1, x_3$  значений факторов к натуральным  $b, \delta$  получена зависимость методической погрешности при определении профиля коллектора от ширины ламелей и величины зазора между датчиком и поверхностью коллектора

$$\Delta = -59,889 + 17,880 b + 1,133 \delta - 0,409 b \delta + 0,008 \delta^2. \quad (4)$$

Полученное уравнение (4) можно использовать для вычисления величины методической погрешности прибора ПКП-4М. Кроме того, это уравнение позволяет при известной ширине коллекторной пластины устанавливать величину требуемого зазора между датчиком и поверхностью коллектора исследуемого ТЭД для достижения поставленной точности результатов измерений.

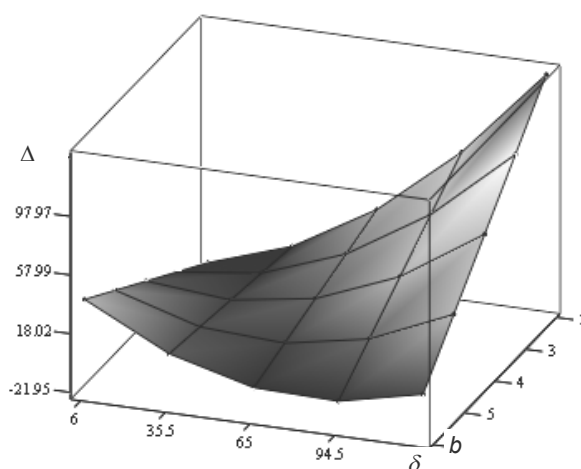


Рисунок 3 – Зависимость погрешности измерения от величины зазора и ширины коллекторных пластин

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Определение диагностических параметров для оценки состояния профиля коллектора тягового электродвигателя / В.В. Харламов, Р.В. Сергеев, П.К. Шкодун, Д.А. Ахунов // Омск. науч. вестн. Сер. Приборы, машины и технологии. -2011. - Вып. 2(97). -С. 121-125.
- 2 Харламов, В.В. Методы и средства диагностирования технического состояния коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей и других коллекторных машин постоянного тока: монография / В.В. Харламов; Омск. гос. ун-т путей сообщения. -Омск, 2002. -233 с.
- 3 Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. -М.: Машиностроение, 1981. -184 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** профиль коллектора, вихретоковый метод, коллекторная частота, профилометр, аналого-цифровой преобразователь, полный факторный эксперимент, функция отклика, математическая модель

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Харламов Виктор Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»  
Шкодун Павел Константинович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»  
Ахунов Данил Асгатович, аспирант ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»



## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ОМСКОГО СУДОСТРОИТЕЛЬНО-СУДОРЕМОНТНОГО ЗАВОДА

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия»

Омский институт водного транспорта, филиал ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Ю.М. Денчик, Д.А. Зубанов, В.И. Клеутин, Е.Ю. Руппель,  
А.А. Сидоренко, Ю.В. Солодянкин

METHOD FOR DETERMINATION OF CONDUCTIVE ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE ON THE STEADY-STATE VOLTAGE DEVIATION IN THE SHIP'S ELECTRICAL NETWORK

«Novosibirsk state academy of water transport»

«Siberian state automobile and highway academy»

Omsk institute of water transport, branch «Novosibirsk state academy of water transport»

«Omsk state transport university»

Ju.M. Denchik, D.A. Zubanov, V.I. Kleutin, E.Yu. Ruppel, A.A. Sidorenko, Yu.V. Solodyankin

The results of experimental studies of the voltage quality in electrical networks Omsk shipyard and recommendations to ensure power quality and increase noise immunity of electrical networks.

Keywords: research, the quality of stress, immunity, transformer substation, the compensation

Приводятся результаты экспериментальных исследований показателей качества напряжения в электрических сетях Омского ССРЗ и даны рекомендации по обеспечению качества электроэнергии и повышению помехоустойчивости этих электрических сетей.

В результате исследования электромагнитной обстановки (ЭМО) в электрических сетях Омского ССРЗ в период с июня 2011 г. по май 2012 г. установлено нарушение показателей качества электроэнергии (ПКЭ) в электрической сети 0,4 кВ ТПЗ по величине установившегося отклонения напряжения и величине провала напряжения [1].

Для измерений использовался ИВК «Омск-М» заводской номер №042. Схема подключения ИВК «Омск-М» приведена на рисунке 1. Использовано шесть измерительных каналов: три для измерения напряжения на шинах подстанции и три для измерения токов, подключены к вторичной обмотке измерительных трансформаторов ТА. Измерения проводились в течении суток летнего максимума нагрузок [1, 2].

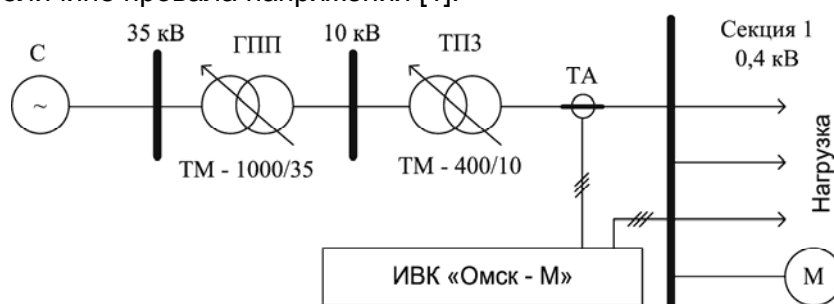


Рисунок 1 – Схема подключения ИВК «Омск-М» к шинам подстанции ТПЗ Омского ССРЗ

К ТПЗ Омского ССРЗ подключены электропривод слипа и электрооборудование, обеспечивающее ремонт судов на слипе. Таким образом, электрическая нагрузка в основном формируется большим числом сварочных трансформаторов и электроприводом козлового крана. Электропривод слипа работает кратковременно, при этом остальная нагрузка практически полностью отключается. Обработка экспериментальных данных выполнялась в программе Statistica 6.0.

В результате установлено (рисунок 2):

- изменение напряжения не подходит под описание стандартных законов распределения;
- напряжение на шинах подстанции не выходит за границы предельно допустимых значений;
- в сети ТПЗ присутствует кондуктивная электромагнитная помеха по допустимому отклонению напряжения с вероятностью 31,44%;

– при работе козлового крана в сети присутствуют провалы напряжения величиной до 68,7% длительностью до 1 с, частота провалов напряжения – 12, в период контрольных суток [2, 3].

– за счет большой индуктивной нагрузки среднее значение коэффициента мощности на шинах подстанции находится в пределах 0,6.

При эксплуатации на подстанции РПН находился в максимальном повышающем положении. Таким образом, обслуживающий персонал пытался поддержать значение напряжения в пики нагрузки и снизить его провалы.

Для обеспечения ПКЭ в пределах ГОСТ 13109, по результатам исследований разработаны следующие рекомендации.

1 РПН трансформатора перевести в нулевое положение.

2 Подключить к шинам подстанции конденсаторные батареи мощностью 100 квар, что позволит поднять коэффициент мощности до приемлимого значения 0,9.

3 Следует отметить, что установка конденсаторных батарей помимо компенсации реактивной мощности, играет роль фильтра при резких изменениях тока и напряжения, то есть может также компенсировать кратковременные провалы напряжения (менее 1 с).

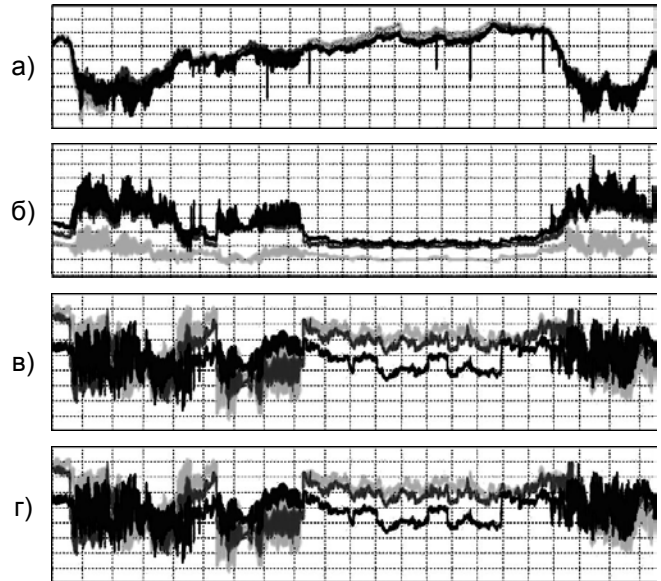
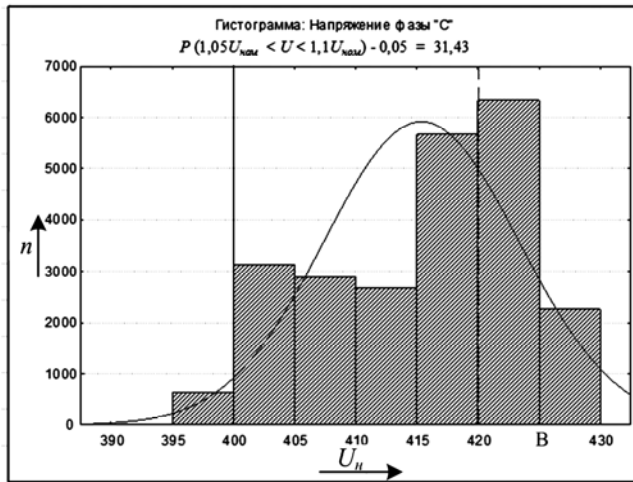


Рисунок 2 – Результаты суточных измерений на секции 1 ТПЗ Омского ССРЗ с помощью ИВК «Омск-М»: а)-напряжение; б)-мощность; в)-ток; г)-коэффициент мощности



Интервал, В		n, число попаданий в интервал	p, вероятность,
от	до		
385	390	0	0,00
390	395	5	0,02
395	400	638	2,70
400	405	3128	13,24
405	410	2897	12,26
410	415	2682	11,35
415	420	5674	24,01
420	425	6344	26,84
425	430	2264	9,58
Всего		23632	100,00
		$\delta U_n, В$	31,43

Рисунок 3 – Результаты расчета ЭМП в программе Statistica 6.0

Идея регулирования напряжения за счет воздействия на потоки реактивной мощности заключается в том, что при изменении реактивной мощности изменяются потери напряжения в сопротивлениях.

Для схемы, изображенной на рисунке 4, связь между напряжениями  $U_1$  и  $U_2$  можно записать в виде [3]

$$U_2 = U_1 + \Delta U = U_1 - \frac{P_2 R_T + (Q_2 - Q_{CB}) X_T}{U_2}, \quad (1)$$

где  $U_1, U_2$  – напряжения в узлах 1 и 2, соответственно, кВ;

$P_2$  – активная мощность нагрузки, кВт;

$Q_2$  – реактивная мощность нагрузки, квар;

$R_T$  – активное сопротивление трансформатора, Ом;

$X_T$  – индуктивное сопротивление трансформатора, Ом;  
 $Q_{CB}$  – мощность конденсаторной батареи, Мвар.

Мощность батареи конденсаторов  $Q_{CB}$  зависит от подводимого напряжения.

С учетом этого обстоятельства, а также зависимости (1) мощность батареи конденсаторов для изменения напряжения  $U_2$  до желаемого  $U_{2,ЖЕЛ}$  должна быть равна [3]

$$Q_{CB} = \left[ \frac{(U_{2,ЖЕЛ} - U_2) \cdot U_{2,ЖЕЛ}}{X_T} + \left( 1 - \frac{U_{2,ЖЕЛ}}{U_2} \right) \left( P_2 \frac{R_T}{X_T} + Q_2 \right) \right] \cdot \left( \frac{U_{НОМ,СВ}}{U_{2,ЖЕЛ}} \right)^2, \quad (2)$$

где  $U_{2,ЖЕЛ}$  – желаемое напряжение в узле 2, кВ;

$U_{НОМ,СВ}$  – номинальное напряжение конденсаторной батареи, кВ.

Подставляя известные данные в (2), получаем

$$Q_{CB} = \frac{(0,4 - 0,275) \cdot 0,4}{17,1} + \left( 1 - \frac{0,4}{0,275} \right) \cdot \left( 400 \frac{5,5}{17,1} + 143,11 \right) = 71,34 \text{ квар.}$$

Конденсаторная батарея с расчетной мощностью  $Q_{CB} = 100$  квар не только компенсирует реактивную мощность, но и обеспечивает электромагнитную совместимость по провалам напряжения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ГОСТ 13109. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Введ. 01-01.1999. -М.: ИПК, 1998. -33 с.
- 2 Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: РД 153-34.0-15.501-00: утв. 27.12.00. -М.: Энергосервис, 2004. -38 с.
- 3 Лыкин, А.В. Электрические системы и сети / А.В. Лыкин. -М.: Университетская кн.: Логос, 2008. -254 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** исследования, качество напряжения, помехоустойчивость, трансформаторная подстанция, компенсация

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Зубанов Дмитрий Александрович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Клеутин Владислав Иванович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Руппель Елена Юрьевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СибАДИ»  
 Сидоренко Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** Солодянкин Юрий Владимирович, аспирант ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»  
 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 644080, г. Омск, пр. Мира, 5, ФГБОУ ВПО «СибАДИ»  
 644043, г. Омск, ул. И. Алексеева, 4, ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ «БЕРЕГ-СУДНО»

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.И. Клеутин

**DETERMINATION OF THE DEVIATION VOLTAGE POWER LINES «FROM SHORE TO SHIP»**  
 «Novosibirsk state academy of water transport»  
 V.I. Kleutin

The estimation of voltage fluctuation in the electrical network connecting the vessel to the shore to meet the requirements of the Russian River Register and ГОСТ 13109-97

**Keywords:** voltage fluctuation, conductive interference, the CPI, «Omsk-M», floating crane, the substation

Выполнена оценка отклонения напряжения в электрической сети при подключении судна к берегу на соответствие требованиям Российского Речного Регистра и ГОСТ 13109-97.

При подключении судна к берегу создается электрическая система берег-судно. В этой системе на участке до ЩПВИ требования к качеству напряжения определяет ГОСТ 13109-

97, а в судовой сети Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания Российского Речного Регистра (ПСВП РРР). Таким образом, электромагнитная совместимость этой системы достигается, когда на каждом участке выполняются соответствующие требования.

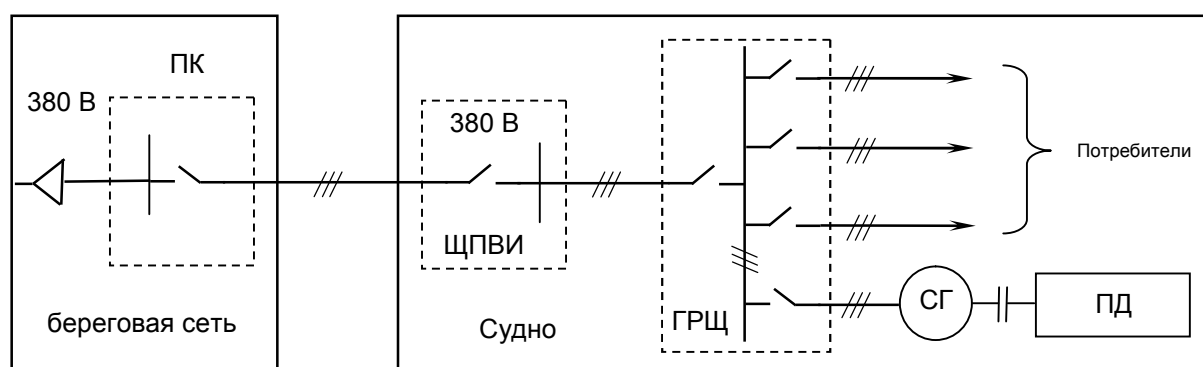


Рисунок 1 – Электрическая схема системы берег-судно: ПК-питательная колонка для присоединения судов; ЩПВИ-щит питания от внешнего источника; ГРЩ-главный распределительный щит; СГ-синхронный генератор; ПД-приводной двигатель

Наиболее часто к береговой электрической сети в качестве мощной электрической нагрузки подключают плавкраны. В связи с этим был выбран в качестве объекта исследований плавкран проекта 81-040.

Измерения проводились при перегрузке грейфером крана сыпучих грузов (песка) на берег. Нагрузка крана находилась в пределах от 70 до 90% от номинальной. Данные эксперимента, группировались и были выделены наиболее

характерные нагрузки, которые обрабатывались статистическими методами. Было выделено 600 характерных циклов подлежащих обработке. Среднее время одного цикла равно 6 с.

Для измерений использовался ИВК «Омск-М» заводской №042, год выпуска 2009 г. Измерения выполнялись в двух точках: на шинах плавкрана на соответствие требованиям ПСВП РРР, на шинах подстанции на соответствие требованиям ГОСТ 13109-97. Использовалось три канала для измерения напряжения и три канала для измерения тока.

Для статистической обработки результатов измерения используем программу Statistica 6.0.

В результате измерений установлена кондуктивная помеха по отклонению напряжения.

Определим закон распределения и его параметры, вероятность кондуктивной ЭМП по установившемуся отклонению напряжения на шинах ГРЩ плавкрана проекта 81-040. График нормальной плотности распределения совмещенный с нормируемыми значениями уровней ЭМС в береговой электрической сети 0,4 кВ.

Анализ гистограммы (рисунок 2):

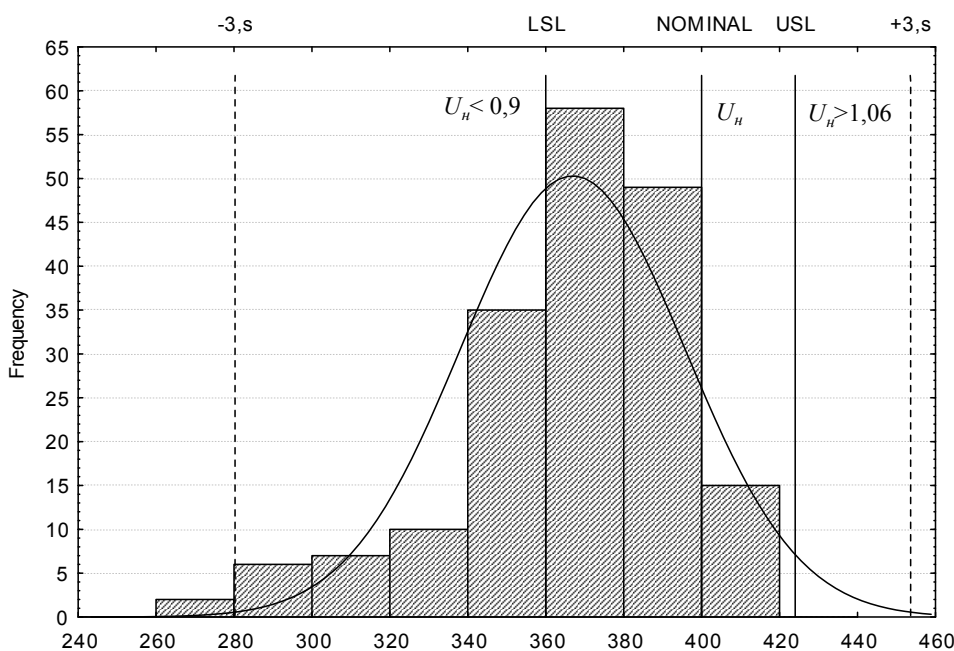


Рисунок 2 – Гистограмма измерений отклонения напряжения на шинах 0,4 кВ ГРЩ плавкрана проекта 81-040

- отклонение действующего значения напряжения соответствуют нормальному закону распределения с вероятностью ..... 0,89;
- математическое ожидание ..... 366,9 В;
- среднее квадратическое отклонение..... 28,9 В.

Определение кондуктивной ЭМП по отклонению напряжения в электрической сети 0,4 кВ в соответствии с ГОСТ 13109-97.

Вероятность выхода за верхнюю границу длительно допустимого значения напряжения ( $U_n > 1,1U_n$ )

$$P(1,10 > \delta U_n > \infty) = 0.$$

Вероятность выхода за нижнюю границу длительно допустимого значения напряжения ( $U_n < 0,9U_n$ )

$$P(0 < \delta U_n < 0,9) = 0,33.$$

Вероятность попадания  $\delta U_n$  в пределы (-10...-5% от  $U_n$ )

$$P(0,9 \leq \delta U_n \leq 0,95) = 0,319.$$

Вероятность попадания  $\delta U_n$  в пределы (+5...+10% от  $U_n$ )

$$P(1,0 \geq \delta U_n \geq 1,05) = 0.$$

Вероятность появления кондуктивной ЭМП по отклонению напряжения  $\delta U_n$  составляет

$$P(\delta U_n) = [P(1,10 > \delta U_n > \infty) + P(0 < \delta U_n < 0,9)] + \\ + [P(0,9 \leq \delta U_n \leq 0,95) + P(1,0 \geq \delta U_n \geq 1,05) - 0,05] = 0,33 + 0,319 - 0,05 = 0,644,$$

поэтому ее необходимо подавить.

Определение кондуктивной ЭМП по отклонению напряжения в электрической сети 0,4 кВ в соответствии с ПВС РРР.

Вероятность выхода за верхнюю границу длительного отклонения напряжения (+6% от  $U_n$ )

$$P(1,06 > \delta U_n > \infty) = 0.$$

Вероятность выхода за верхнюю границу длительного отклонения напряжения (-10% от  $U_n$ )

$$P(0 < \delta U_n < 0,9) = 0,33.$$

Вероятность появления кондуктивной ЭМП по отклонению напряжения  $\delta U_n$  в судовой электрической сети 0,4 кВ плавкрана проекта 81-040 составляет

$$P(\delta U_n) = P(1,06 > \delta U_n > \infty) + P(0 < \delta U_n < 0,9) = 0 + 0,33 = 0,33.$$

Таким образом, в электрической сети 0,4 кВ плавкрана проекта 81-040 наблюдаются кондуктивная ЭМП  $\delta U_n$ , поэтому ее необходимо подавить.

Определяем закон распределения (рисунок 3) и его параметры, вероятность кондуктивной ЭМП по установившемуся отклонению напряжения на шинах подстанции ТП 50322 0,4 кВ на соответствие ГОСТ 13109-97.

Анализ гистограммы (рисунок 3):

- отклонение действующего значения напряжения соответствуют нормальному закону распределения с вероятностью ..... 0,87;
- математическое ожидание ..... 371,4 В;
- среднее квадратическое отклонение..... 25,2 В.

Вероятность попадания  $\delta U_n$  в пределы (более  $\pm 10\%$  от  $U_n$ )

$$P(\delta U_{n,\text{п.д}}) = P(0 < \delta U_n < 0,9U_n) + P(1,1U_n < \delta U_n < \infty) = 0,123 + 0 = 0,123.$$

Вероятность попадания  $\delta U_n$  в пределы ( $\pm 5\ldots\pm 10\%$  от  $U_n$ )

$$P(\delta U_{n,\text{н.д}}) = P(0,9U_n \leq \delta U_n \leq 0,95U_n) + P(1,05U_n \leq \delta U_n \leq 1,1U_n) - 0,05 = 0,082 + 0,131 - 0,05 = 0,163.$$

Таким образом, в электрической сети 0,4 кВ наблюдаются кондуктивная ЭМП  $\delta U_n$ . Вероятность появления которой составляет

$$P(\delta U_n) = P(\delta U_{n,\text{н.д}}) + P(\delta U_{n,\text{п.д}}) = 0,123 + 0,163 = 0,286.$$

Таким образом, шинах подстанции ТП 50322 0,4 кВ наблюдаются кондуктивная ЭМП  $\delta U_n$ , поэтому ее необходимо подавить.

Учитывая все вышеизложенное делаем следующие выводы:

– в береговой сети 0,4 кВ установлена кондуктивная ЭМП по отклонению напряжения вероятность ее появления в соответствии с требованиями ГОСТ 13109-97 по установившемуся отклонению напряжения составляет 0,286;

– в электрической сети плавкрана проекта 81-040 установлена кондуктивная ЭМП по отклонению напряжения вероятность ее появления в соответствии с требованиями ГОСТ 13109-97 по установившемуся отклонению напряжения составляет 0,644; по требованиям ПСВП РРР – 0,33.

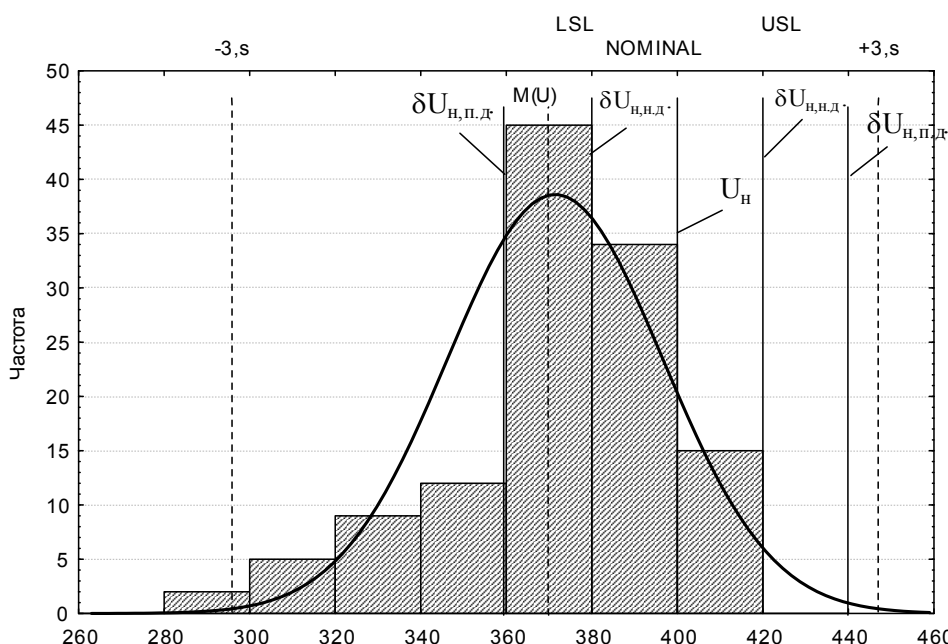


Рисунок 3 – График нормальной плотности вероятности распределения совмещенный с нормируемыми значениями уровней ЭМС в электрической сети 0,4 кВ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

отклонение напряжения, кондуктивная помеха, ИВК «Омск-М», плавкран, подстанция  
Клеутин Владислав Иванович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## РЕГУЛИРОВАНИЕ УРОВНЯ НАПЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Омский институт водного транспорта, филиал ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.И. Антонов, Ю.М. Денчик, Д.А. Зубанов, А.А. Руппель, А.А. Сидоренко

MANAGING VOLTAGE LEVEL IN ELECTRIC NETWORKS ENTERPRISES WATER TRANSPORT

«Novosibirsk state academy of water transport»

Omisk institute of water transport, branch «Novosibirsk state academy of water transport»

A.I. Antonov, Ju.M. Denchik, D.A. Zubanov, A.A. Sidorenko, A.A. Ruppel

The analysis of the influence of the voltage level on the electromagnetic environment in the electric networks of coastal water transport facilities. Recommendations on the regulation of the voltage level.

Keywords: indicators of quality of electric power, electromagnetic environment, the voltage level, immunity, reactive power compensation

Выполнен анализ влияния уровня напряжения на электромагнитную обстановку в электрических сетях береговых объектов водного транспорта. Даны рекомендации по регулированию уровня напряжения.

В связи с повсеместным внедрением вычислительной техники, широким использованием микроконтроллеров в системах автоматизации технологических процессов, средствах связи и т.д. возросло негативное воздействие нарушений показателей качества электроэнергии (ПКЭ) [1] на производственный процесс в целом. Даже при незначительном нарушении ПКЭ микропроцессорная и цифровая техника может давать сбои в программном коде и работе оборудования. Последствия этих сбоев могут приводить к простоям в работе, нару-

шению технологического процесса, браку продукции.

При резко-переменном режиме работы мощных потребителей среди нарушений ПКЭ чаще всего происходят провалы напряжения, которые приводят к мгновенным последствиям, тем более значимым, чем больше их глубина и длительность. Они формируют кондуктивную электромагнитную помеху (ЭМП) по отклонению и провалам напряжения передающуюся по сетям.

Анализируя зарубежные исследования в этой области стоит выделить исследования, выполненные американским научно-исследовательским институтом электроэнергетики (EPR1) в низковольтных электрических сетях в период с 1993 по 1999 г. Эти исследования показали, что 92% нарушений качества электроэнергии составили именно провалы напряжения, величиной до 50% с длительностью до 0,5 с [2].

Типичное распределение провалов напряжения с длительностью до 0,5 с показано на рисунке 1.

Аналогичная ситуация наблюдается в Западной Европе – отклонения напряжения продолжительность более 90% нарушений не превышали 1 с [2].

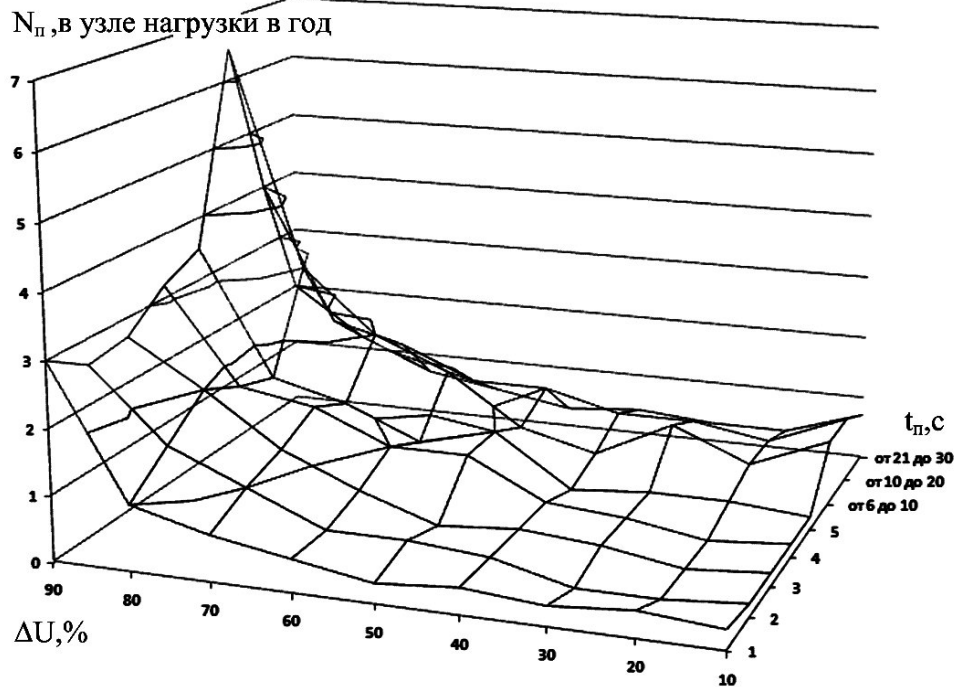


Рисунок 1 – Распределение провалов напряжения с длительностью до 0,5 с в низковольтных электрических сетях

Типичное рас-

пределение провалов напряжения с длительностью до 0,5 с показано на рисунке 1.

Аналогичная ситуация наблюдается в Западной Европе – отклонения напряжения продолжительность более 90% нарушений не превышали 1 с [2].

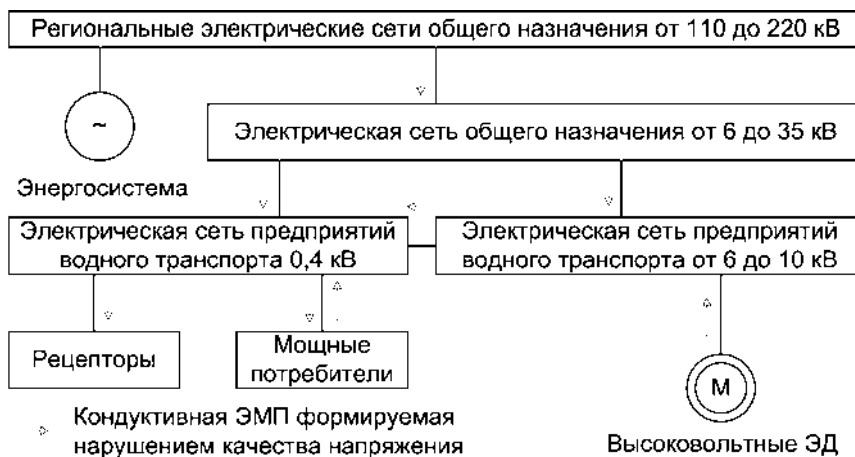


Рисунок 2 – Пути передачи кондуктивной ЭМП в электрических сетях предприятий водного транспорта

Системы электроснабжения (СЭС) береговых объектов водного транспорта часто удалены от центров питания и имеют ограниченную мощность источников питания, что снижет их помехоустойчивость, как при внешних воздействиях, так и воздействиях внутри СЭС предприятия от собственных мощных потребителей (рисунок 2) [3].

Анализ исследований в электрических сетях предприятий отрасли показывает, что наиболее существенное влияние на электромагнитную обстановку (ЭМО) оказывают пусковые токи мощных потребителей, которые приводят к нарушению в первую очередь следующих ПКЭ: установленному значению напряжения и провалам напряжения.

Таким образом при регулировании уровня напряжения в электрических сетях береговых объектов водного транспорта необходимо:

Во-первых разделить потребители электроэнергии по категориям в зависимости от способности создавать кондуктивные ЭМП по отклонению и провалам напряжения (источники ЭМП) и негативно реагировать на эти воздействия (рецепторы). Распределить нагрузки с

важнейшее влияние на электромагнитную обстановку (ЭМО) оказывают пусковые токи мощных потребителей, которые приводят к нарушению в первую очередь следующих ПКЭ: установленному значению напряжения и провалам напряжения.

учетом помехоустойчивости электрических сетей.

Во-вторых для поддержания нормируемого уровня напряжения в электрических сетях предприятия необходимо правильно определить положение РПН трансформаторов, что возможно выполнить только при наличии достоверных графиков нагрузки и выполнении исследований ЭМО.

В-третьих выполнить мероприятия по повышению помехоустойчивости электрических сетей предприятия. Для этого необходимо максимально снизить потери напряжения в линиях передачи за счет коэффициента их загрузки, в том числе по реактивному току. Следовательно, важно правильно определить место установки и мощность устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ). Использовать установленные УКРМ, как накопители энергии для компенсации провалов напряжения.

В-четвертых, если помехоустойчивость электрических сетей не обеспечивает нахождение ПКЭ в нормируемых значениях целесообразно использовать технические средства для ограничения пусковых токов, активные фильтры и средства для поддержания уровня напряжения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ГОСТ 13109. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Введ. 01-01.1999. -М.: ИПК, 1998. -33 с.
- 2 Ильинский, Н.Ф. Электропривод: энерго- и ресурсосбережения / Н.Ф. Ильинский, В.В. Москаленко. -М.: Академия, 2008. -208 с.
- 3 Анализ гармонических воздействий помех на электрические сети береговых объектов водного транспорта Западной Сибири / А.А. Руппель [и др.] // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№1. -С. 331-334.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *показатели качества электроэнергии, электромагнитная обстановка, уровень напряжения, помехоустойчивость, компенсация реактивной мощности*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Антонов Александр Игоревич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Зубанов Дмитрий Александрович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Руппель Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Сидоренко Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
644043, г. Омск, ул. И. Алексеева, 4, ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В г. НОВОСИБИРСКЕ И НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ**

**ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»**

**Т.В. Пилипенко**

**POSSIBILITY RESEARCH ISPOL-ZOVANIJA ALTERNATIVE ENERGY SOURCES IN NOVOSIBIRSK AND NOVOSIBIRSKY AREA «Novosibirsk state academy of water transport»**

**T.V. Pilipenko**

In this article research of possible transition to alternative power sources in our city is carried out.

*Keywords: alternative power sources, non-renewable and renewable energy*

Проводится исследование возможного перехода на альтернативные источники энергии в нашем городе.

Потребность нужд города Новосибирска в электрической и тепловой энергии непрерывно растет, с другой стороны, экологическая обстановка ухудшается с каждым годом.

В результате последней переписи населения, наш город признан третьим по величине в России. В связи с этим можно смело утверждать, что наш мегаполис является одним из самых быстроразвивающихся городов страны. Развитие города происходит в разных направлениях: промышленность, наука, строительство, образование, культура и т.д. В связи с этим можно смело утверждать, что подобный рост населения и всех вышеперечисленных факторов напрямую связан с ростом потребления электроэнергии, тепловой энергии, автотранспорта. А здесь мы напрямую видим зависимость с состоянием окружающей среды и она яв-



но не в пользу человека.

В данной ситуации, когда количество автотранспортных средств увеличивается с каждым днем (и, соответственно, выхлопы в окружающую среду тоже), растет потребление электрической и тепловой энергии в результате большого прироста квадратных метров, и прочее, – необходимо проанализировать возможность хотя бы частичного перехода на альтернативные источники энергии.

Рассмотрим, как же росла зависимость человечества от энергии.

На протяжении всей истории человечества потребление энергии увеличивалось. Человечество начало с использования возобновляемых источников энергии, но постепенно перешло к безрассудному использованию невозобновляемых источников. Сначала человек использовал свою мышечную энергию, затем научился пользоваться ветром и морскими течениями для судоходства, дровами для разведения огня и т.п. В античном мире и в средние века уже использовалась энергия ветра и воды в ветряных и водяных мельницах.

Следующий шаг в развитии энергопотребления связан с овладением энергией пара и появлением в конце XVIII в. паровых машин. Овладение электричеством в середине XIX в. – новый этап в истории энергопотребления. На основе электроэнергии развились новые средства связи – телеграф, телефон, радио, телевидение, а позже и компьютерные технологии. Сегодня, несмотря на активное вмешательство экологических организаций и правительственных программ, все еще идет наращивание использования невозобновляемых источников энергии, но в XXI в. должен произойти перелом в пользу возобновляемых источников энергии, так как человечество все больше внимания уделяет проблемам экологии.

Как известно, к невозобновляемым источникам энергии относятся природные источники, которые образуются или восстанавливаются гораздо медленнее, чем расходуются: уголь, нефть, природный газ, торф, ядерное горючее. По оценкам специалистов, запасов ископаемых энергоресурсов хватит еще на 100-300 лет. С каждым годом их добывают во все более труднодоступных местах и районах, поэтому их добыча становится дороже и экономическая эффективность использования ископаемого топлива стремительно снижается. Кроме этого, при сжигании ископаемого топлива в атмосферу выбрасывается множество вредных соединений. Эти загрязнения отрицательно влияют на здоровье человека и других организмов, а также усиливают парниковый эффект в атмосфере и вносят дополнительный вклад в изменение климата на Земле.

Конечно, основополагающим фактором использования определенного вида энергии является, в первую очередь, географическая предрасположенность. Например, в странах, расположенных на морских побережьях, используется приливная энергия, расположенных вблизи горных цепей – геотермальная, и т.д. Но солнечная энергия и энергия ветра, в той или иной степени, доступна практически во всех районах земного шара.

Начиная с 1970-х годов, после возникшего нефтяного кризиса, многие страны, не обладающими запасами нефти, ввели программы перехода экономики к альтернативным источникам энергии. Яркими примерами могут служить страны Западной Европы: Германия, Дания, Франция и т.д. (таблица).

*Таблица – Соотношение использования источников энергии, (в процентах)*

Потребление	Уголь	Нефть	Газ	Атомная	Альтернативная*
Мировое	27	40	23	7	3
Россия	19	23	52	4	3

\*-гидро- геотермальная, солнечная и ветровая энергия

Вернемся к Новосибирской области. Несмотря на строительство Новосибирского водохранилища 50 лет назад, его роль в энергопотреблении города незначительна, а главным источником получения тепла и электроэнергии в наших домах и на производстве остается ТЭЦ. Также немаловажное значение имеет наличие такого географического соседа, как Кузбасс, где добывается огромное количество каменного угля и, соответственно, возникает экономическая целесообразность его закупки. Несмотря на то, что ряд котельных переходит на использование природного газа, основным источником, с помощью которого мы получаем электро- и тепловую энергию, остается каменный уголь.

Уголь был первым невозобновляемым энергоисточником, который стал использовать человек в Европе и Америке. Очень велико загрязнение природы при сжигании угля для производства энергии. При этом только одна треть тепла расходуется на производство

электроэнергии, остальные же две трети тепловой энергии излучаются в атмосферу. При сжигании угля образуются ядовитые газы, такие, как угарный газ (окись углерода), сернистый газ (диоксид серы) и газы, влияющие на климат, например, углекислый газ. Выбросы этих газов сильно увеличились со времен промышленной революции. Никакой другой тип невозобновляемого энергоисточника не выбрасывает так много углекислого газа, как уголь. Загрязнение производят также угольная пыль и сажа. Кроме того, обычные тепловые электростанции (ТЭС) работающие на угле, создают повышенный радиационный фон, так как уголь содержит в небольших количествах радиоактивные элементы, которые при сжигании угля попадают в атмосферу. В выбросах ТЭС присутствуют в высоких концентрациях такие металлы как свинец, мышьяк, хром, цинк, железо.

Четверть всей энергии в мире вырабатывается из природного газа. По добыче газа Россия устойчиво занимает первое место в мире. Залежи природного газа обычно находятся вместе с нефтью, хотя существуют чисто газовые месторождения. Природный газ, как нефть и уголь, образовался в земле из останков растений и мелких животных. Содержание энергии в природном газе почти такое же высокое, как в нефти. Природный газ используется как топливо на электростанциях, как бытовое топливо, как сырье в промышленности, и т.д.

Природный газ является самой чистой формой невозобновляемой энергии: в нем очень низкое содержание ядовитых веществ, и он может сгорать очень быстро, поэтому он прост в использовании. Тем не менее, проблемы выбросов углекислого газа при использовании природного газа остаются. Газ можно транспортировать к месту потребления по трубам. Можно снизить температуру, чтобы газ перешел в жидкое состояние и перевозить его в газозовазах.

Остается проблема того, что через несколько десятилетий ресурсы природного газа на земле будут исчерпаны.

Новосибирская область расположена на Западно-Сибирской равнине, где преобладает большое количество болот. Здесь находятся залежи торфа.

Торф – ценнейший природный материал. Это самое молодое ископаемое, образующееся на болотах при разложении отмерших частей деревьев, кустарников, трав и мхов. По сути, это молодой уголь. Растения после отмирания попадают в сильно увлажненную, бедную кислородом среду и разлагаются только частично, поэтому их остатки из года в год накапливаются.

Основные достоинства торфа как энергоносителя:

- низкая себестоимость;
- малое количество образующихся при сжигании соединений серы;
- достаточно полное сгорание (малое количество образующейся золы).

Недостатки:

- низкая теплота сгорания;
- трудности сжигания из-за высокого содержания влаги (до 65%). При высокой степени прессования (торфяной брикет) влажность снижается, но при этом повышается стоимость.

Многие специалисты считают, что торф является перспективным топливом. Но, также как и другие виды ископаемых ресурсов, торф расходуется быстрее, чем образуется. Кроме этого, для добычи торфа осушаются болота – ценнейший ресурс питания рек, место обитания множества ценных видов живых организмов.

Итак, подведем небольшие итоги:

1 Мы не будем рассматривать возможность строительства АЭС, геотермальных, приливных электростанций и др. в Новосибирской области, так как это не является решением проблемы по географической и/или по экономической составляющей развития региона.

2 Новосибирская область благоприятно расположена с точки зрения использования:

- торфа, как наиболее экологически ценного энергоресурса, особенно в труднодоступных районах области;
- ветровой энергии, так как расположена в зоне повышенного ветрового потенциала;
- мини-ГЭС, так как на территории Новосибирской области протекают небольшие реки, где возможно (и уже происходит) строительство подобных сооружений, как наиболее экологически и экономически обоснованных.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** альтернативные источники энергии, невозобновляемая и возобновляемая энергия  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Пилипенко Татьяна Викторовна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГавт»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГавт»

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ПРИСОЕДИНЕНИЯ 10 кВ С ВАКУУМНЫМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ НА КОММУТАЦИОННЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

«Инновационный евразийский университет»

ООО «ПНП Болид»

Ю.М. Денчик, К.С. Мочалин, М.З. Рамазанов, Е.В. Иванова, Л.И. Сарин

RESEARCH OF INFLUENCE OF PARAMETERS OF A CABLE LINE OF JOINING 10 kV WITH THE VACUUM SWITCH ON SWITCHING PULSE VOLTAGE

«Novosibirsk state academy of water transport»

«Innovative university of Eurasia»

Industrial scientific enterprise «Bolid»

Ju.M. Denchik, K.S. Mochalin, M.Z. Ramazanov, E.V. Ivanova, L.I. Sarin

Results of an experimental research of the switching pulse voltage generated by the vacuum switch, in the beginning and in the end of a cable line 10 kV are presented limiting length. Conclusions are resulted.

Keywords: electrification, the system approach, stability, knot, loadings, the vacuum switch, a probable error, an oscillograph

Представлены результаты экспериментального исследования коммутационных импульсных напряжений, генерируемых вакуумным выключателем, в начале и в конце кабельной линии 10 кВ предельной длины. Приведены выводы.

В системах электроснабжения на напряжении 6-10 кВ северных нефтегазовых месторождений происходит замена масляных выключателей на вакуумные выключатели (ВВ). Это обуславливает потребность в достоверной информации о коммутационных импульсных напряжениях, которые генерирует ВВ в момент коммутации. В частности, в технической литературе отсутствуют сведения о влиянии параметров кабельной линии присоединения на коммутационные импульсные напряжения, воздействующие на изоляцию коммутирующей нагрузки, и о вероятности превышения допустимого значения коммутационного импульсного напряжения, которое установлено в зависимости от напряжения сети (43 кВ для сети 10 кВ, 27 кВ – 6 кВ).

Переходные процессы, обусловленные коммутацией ВВ индуктивной нагрузки, являются весьма сложными и по количеству зависимостей и по их характеру. Их нельзя расчленить на независимые составляющие и при определении параметров переходных процессов применить в той или иной форме метод наложения, изменяя влияющие факторы «по одному». Поэтому при изучении явлений используются данные пассивного эксперимента, который предполагает на-

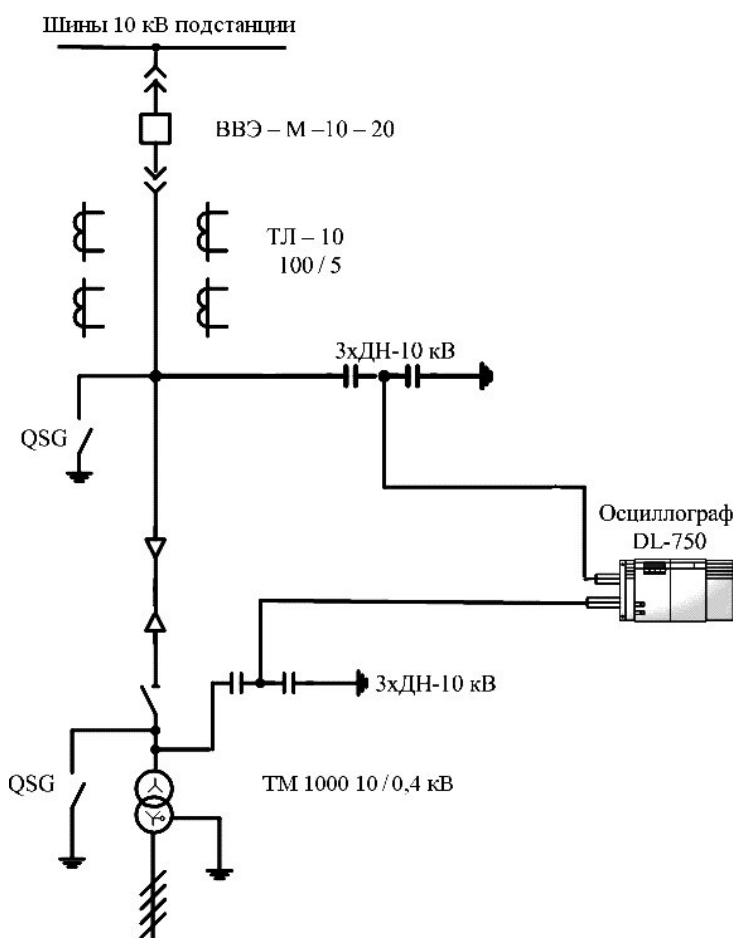


Рисунок 1 – Схема осциллографирования параметров переходных процессов в сети 10 кВ при коммутации вакуумным выключателем индуктивной нагрузки

блюдение за процессом, не вмешиваясь в его протекание, а затем, по окончании применяются специальные методы для обработки его результатов [1].

Для проведения эксперимента выбран ВВ типа ВВЭ-М-10-20/630 УЗ отечественного производителя. Перед проведением эксперимента были измерены прибором контроля высоковольтных выключателей типа ПКВ/М7, который соответствует ТУ 4221-026-41770454-2005, характеристики выключателя. Собственное время включения / отключения и неоднородность замыкания контактов соответствуют техническим нормам. В качестве коммутирующей нагрузки использовался понижающий трансформатор типа ТМ 1000 10/0,4 кВ в режиме холостого хода. Выбор этой нагрузки обусловлен необходимостью коммутировать ВВ индуктивные токи подобных электроприёмников северных месторождений полезных ископаемых.

Схема осциллографирования коммутационных импульсных напряжений приведена на рисунке 1. Использовались два комплекта типовых делителей напряжений (ДН) типа ДН-10. Осциллографирование фазных напряжений осуществлялось цифровым осциллографом типа DL-750-8.

*Таблица – Кратности коммутационных импульсных напряжений при коммутации индуктивной нагрузки вакуумным выключателем типа ВВЭ-10-20/630*

Номер опыта, коммутации и расчётные данные	Шины 10 кВ подстанции в сторону кабельной линии		Шины 10 кВ после кабельной линии	
	включение	отключение	включение	отключение
1	1,37	1,57	1,79	1,55
2	1,45	1,03	1,55	1,01
3	1,24	1,70	1,55	1,67
4	1,46	1,00	1,48	1,00
5	1,28	1,71	1,63	1,66
6	1,49	1,00	1,00	1,00
7	1,36	1,00	1,00	1,00
8	1,67	1,39	1,00	1,00
9	1,51	1,56	1,50	1,48
10	2,68	1,62	1,49	1,00
11	1,46	1,00	1,68	1,00
12	1,39	2,00	1,68	1,00
13	1,52	1,00	1,45	1,00
14	1,32	1,81	1,64	1,76
$M[K_i]$	1,51	1,38	1,46	1,2
$\sigma[K_i]$	0,34	0,35	0,26	0,31
$\eta_i$	2,09	2,03	2,73	2,29
$\Phi_i$	0,228	0,235	0,175	0,208

Случайные ошибки экспериментов при определении режимных параметров сети могут составлять от 15 до 30% [1, 2]. Поэтому для их уменьшения необходимо знать желательную точность определения числового значения измеряемой величины. При этом будем иметь ввиду, что случайные погрешности измерений параметров сети в большинстве случаев подчиняются закону нормального распределения случайной величины теории вероятностей и не могут быть исключены опытом.

Для определения числа испытаний  $n$  колеблющейся (варьирующей) величины будем использовать коэффициент вариации  $\gamma$ , показывающий, в каком диапазоне меняется эта величина [1]. При этом

$$n = 3,84 \frac{\gamma^2}{\Delta^2}. \quad (1)$$

Здесь допустимый предел отклонения  $\Delta$  определяется на основе предварительного анализа исследуемой величины.

В нашем случае, исследуется кратность коммутационных импульсов напряжения при коммутации ВВ, которая по данным [2] составляет от 5 до 8. Следовательно, около значения 6,5 наблюдаются равновероятные колебания величиной 1,5. На основании этого априори принимаем, что  $\gamma = 1,5$ , а допустимый предел отклонения примерно в два раза меньше,

то есть  $\Delta = 0,8$ . Это позволяет по формуле (1) определить количество параллельных коммутаций ВВ,  $n = 14$ .

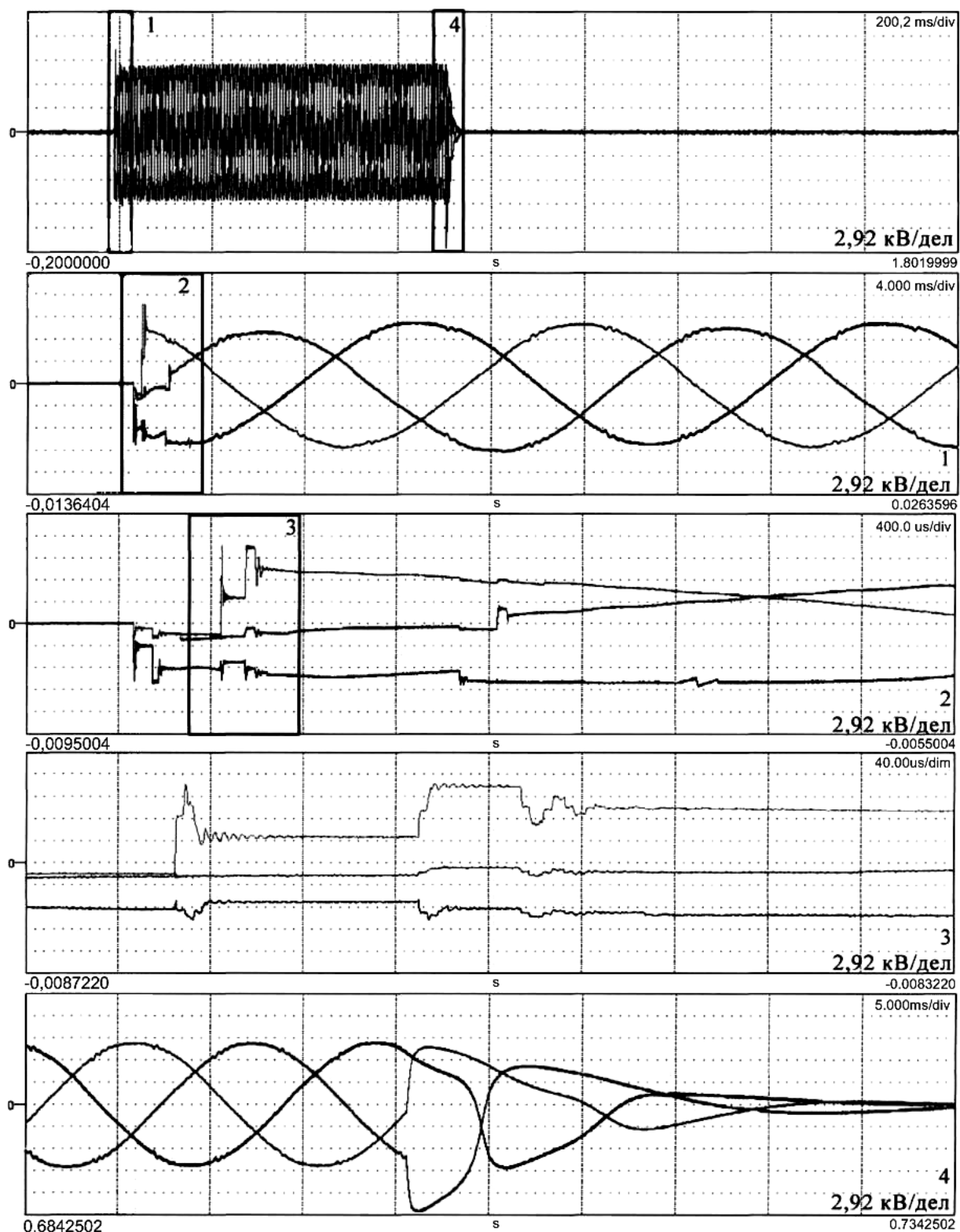


Рисунок 2 – Осциллограммы фазных напряжений на шинах 10 кВ подстанции при коммутации вакуумным выключателем индуктивной нагрузки (опыт 5)

Процесс возникновения коммутационных импульсных напряжений (рисунок 2) иллюстрируется осциллограммой фазных напряжений на шинах 10 кВ подстанции (см. таблицу опыт 5).

Математическая обработка осциллограмм проводилась по программе MATLAB. В таб-

лице приведены кратности коммутационных импульсных напряжений. При включении ВВ возникают высокочастотные импульсные напряжения различной величины с частотами до 500 кГц. В процессе смыкания контактов вакуумной камеры наблюдалось несколько предпробоев межконтактного промежутка. При отключениях возникали импульсные напряжения со значительно более низкими частотами.

Для оценки точности измерений и расчётов рассчитывались вероятная ошибка  $\Phi_i$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma[K_i]$ . Величина  $\Phi_i$  представляет отклонение, при котором в интервале  $\pm\Phi_i$  находится ровно половина всей совокупности кратностей коммутационных импульсных напряжений. При нормальном распределении случайной ошибки эксперимента [1]

$$\Phi_i = \frac{0,477}{\eta_i}, \quad (2)$$

где  $\eta_i$  – некоторая постоянная (показатель точности), характеризующая данное нормальное распределение.

Между  $\eta_i$  и  $\sigma[K_i]$  существует взаимосвязь

$$\sigma[K_i] = 1/\sqrt{2}\eta_i, \quad (3)$$

используя которую определена вероятность (0,682) того, что случайная ошибка измерения находится в пределах  $\pm\eta_i \sigma[K_i]$ .

Вероятность же появления импульсных напряжений сверх допустимого значения составляет 0,318, то есть превышает общепринятого в электроэнергетике допустимого значения (0,05) в 6,36 раз.

Математическое ожидание кратностей коммутационных импульсных напряжений при  $i$ -ых номерах коммутации  $M[K_i]$  показывают (с вероятностью 0,95), что коммутационные импульсные напряжения воздействующие: на кабельную линию при включении составляют  $1,51 U_H$ , при отключении –  $1,38 U_H$ ; на трансформатор при включении  $1,46 U_H$ , при отключении –  $1,2 U_H$ . Параметры кабельной линии (активное и индуктивное сопротивления и ёмкости фаз относительно земли и между собой) предельно возможной длины (кабель марки АСБ 10 кВ 3×120, 315 м) снижают кратность при включении ВВ в 1,03, а при отключении – 1,15 раз.

Таким образом, нет оснований ослаблять помехозащищённость, предусмотренную директивным документом [3] и последними достижениями в этой области [4, 5], присоединений с ВВ из-за:

- высокой вероятности (0,318) превышения допустимого значения коммутационными импульсами напряжения;
- незначительного влияния параметров кабельной линии присоединения на коммутационные импульсные напряжения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Веников, В.А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики): учеб. пособие для вузов / В.А. Веников. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Высш. шк., 1976. -479 с.
- 2 Сарин, Л.И. Комплексный подход к выбору средств ограничения перенапряжений в сетях 6-10 кВ крупных промышленных предприятий целлюлозно-бумажной и металлургической промышленности / Л.И. Сарин, М.В. Ильиных // Ограничение перенапряжений. Режимы заземления нейтрали. Электрооборудования сетей 6-35 кВ: тр. 4-ой всерос. науч.-техн. конф. -Новосибирск, 2006. -С. 55-62.
- 3 Правила устройства электроустановок. -М.: ДЕАН, 2001. -928 с.
- 4 Дмитриев, Н.Н. Ограничение перенапряжений в электрической сети 10 кВ / Н.Н. Дмитриев // Энергетик. -2011. -№10. -С. 17-19.
- 5 Средства и методы ограничения внутренних перенапряжений в сетях 6-35 кВ / Н.И. Емельянов [и др.] // Энергетик. -2011. -№10. -С. 6-10.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электрификация, системный подход, устойчивость, узел, нагрузка, вакуумный выключатель, вероятная ошибка, осциллограф

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Мочалин Константин Сергеевич, старший преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Рамазанов Мурат Зикенович, канд. техн. наук, докторант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Иванова Елена Васильевна, докт. техн. наук, доцент «ИНЕУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** Сарин Леонид Иванович, ведущий инженер ООО «ПНП Бolid»  
630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
140003, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 45, «ИНЕУ»  
630015, г. Новосибирск, ул. Электрозаводская, 2, корп. 6, ООО «ПНП Бolid»

# АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАШИН ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ФАЗОРАСЩЕПЛЕНИЯ

ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Н.Н. Гарев, П.Ю. Иванов, В.Н. Выжимова, Е.Ю. Дульский

RELIABILITY ANALYSIS OF ASYNCHRONOUS AUXILIARY MACHINES AT DIFFERENT PHASE SPLITTING SYSTEMS

«Irkutsk state university of means of communication»

N.N. Garev, P.Yu. Ivanov, V.N. Vyzhimova, E.Yu. Dul'skiy

The article analyzed refusals of asynchronous electric auxiliary machines of the eastern region, with emphasis on their most typical type of denial - smelting of the rotor. The relation between the amount of smelting of the rotor and applied to each series of electric locomotives of the splitting phase.

*Keywords: induction motor, the phase splitter, power quality, skin-effect*

Выполнен анализ отказов асинхронных вспомогательных машин электровозов восточного региона с акцентированием внимания на их наиболее характерный тип отказа – выплавление ротора. Выявлена связь между количеством выплавлений ротора и примененной на электровозах каждой серии системы расщепления фаз.

Проблема повышения надёжности асинхронных вспомогательных машин (АВМ) электроподвижного состава (ЭПС) приобрела в последние годы большое социально-экономическое значение. Особенно эта проблема обострилась в связи с проектированием, производством, изготовлением, эксплуатацией и ремонтом электровозов нового поколения после известных в нашей стране социально-экономических преобразований.

С целью установления причин снижения надёжности кафедрой ЭПС ИргУПС была проанализирована статистика отказов АВМ электровозов переменного тока за полувековой период. В анализе этой проблемы были использованы труды О.А. Некрасова, Р.И. Мирошниченко, Н.Н. Горина, В.В. Шевченко, М.А. Козорезова, В.И. Бочарова, В.П. Янова, В.Г. Щербакова, Л.В. Маханькова, В.П. Феоктистова, А.Т. Осяева, В.П. Смирнова и др. [1].

Рассмотрена статистика отказов асинхронных двигателей для привода общепромышленных механизмов, получающих питание от трёхфазной симметричной сети. В большинстве случаев (85-95%) отказы асинхронных двигателей мощностью свыше 5 кВт происходят из-за повреждения обмоток и распределяются следующим образом: межвитковые замыкания – 93%, пробой межфазной изоляции – 5%, пробой пазовой изоляции – 2%. На подшипниковый узел приходится 5-8% отказов, и небольшой процент связан с такими причинами, как распайка выводных концов, скручивание валов, разрыв стержней ротора и др. Причины отказов можно дифференцировать следующим образом: технологические – около 35%; эксплуатационные (главным образом, неудовлетворительная защита электродвигателей) – 50% и конструкционные – 15%. В среднем в течение года капитально ремонтируют около 20% установленных электрических машин [2]. Как видно из статистики таких отказов, выплавления обмоток ротора, нет.

Однако трёхфазные АВМ ЭПС получают питание от вспомогательной обмотки тягового трансформатора через различные системы расщепления фаз при следующих условиях:

- изменение напряжения питания от +25 до -39% номинального значения; коэффициент несимметрии напряжения  $K_u = U_0/U_n$  до 0,10 (здесь  $U_0$  и  $U_n$ , соответственно напряжение обратной и прямой последовательности);
- коэффициент несимметрии фазных токов  $K_i = I_0/I_n$  до 0,70 (здесь  $I_0$  и  $I_n$  -токи прямой и обратной последовательности);
- снижение вращающего момента до 30% от номинального;
- значительное возрастание момента сопротивления компрессоров при низких температурах воздуха;
- увеличенная продолжительность пуска мотор-компрессоров (МК) из-за существенного уменьшения вращающего момента при понижении питающего напряжения.

На электровозах серий ВЛ60, ВЛ60<sup>К</sup> и ВЛ80<sup>К</sup> использованы двигатели серии типа АС (ротор с глубоким пазом) для привода главных компрессоров и типа АП (ротор с двойной беличьей клеткой) привода вентиляторов. Высокая надёжность этих машин определяется

запасом прочности, которая обеспечивается конструкцией ротора и системой расщепления фаз. В качестве расщеплителя фаз использовались специально разработанные асинхронные машины с несимметричной обмоткой статора серии НБ-455. В статистике отказов по этим машинам, случаев по выплавлению стержней ротора почти нет, но слабым звеном в надёжности этих машин оказались станина и подшипниковые щиты, изготовленные из серого чугуна.

На электровозах серии ВЛ80 применен электродвигатель типа АЭ-92-4О2. При разработке этого электродвигателя учтены условия эксплуатации АВМ на подвижном составе. Однако кратность пускового тока у электродвигателя типа АЭ увеличилась по сравнению с двигателями типа АС и АП с 5,5 до 7,6. Сделано это с целью улучшения пусковых характеристик двигателя. Конструкция ротора у этих электродвигателей, по сравнению с электродвигателями АП и АС, была значительно упрощена (рисунок 1). В статистике отказов по этим машинам, появилась графа по выплавлению стержней ротора, хотя процент этих отказов по отношению к другим элементам не превышал 5-7%.

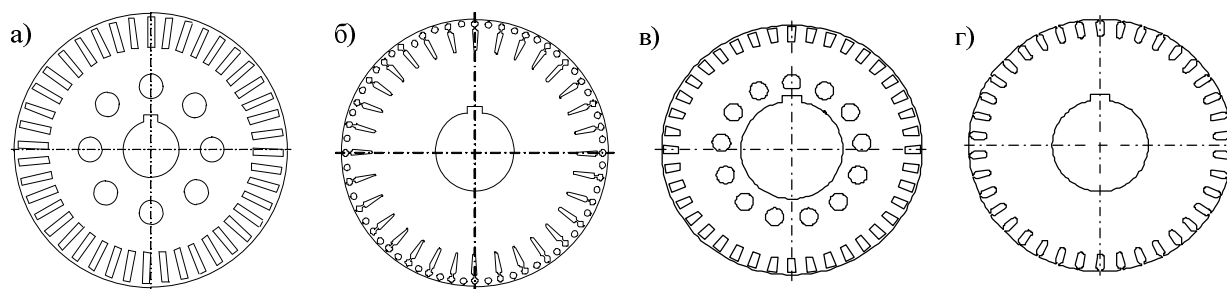


Рисунок 1 – Форма листов роторов двигателей: а) АС-82-4; б) АП-82-4; в) АЭ-92-4; г) АНЭ225 и НВА55

В начале 1980-х гг. разработан и создан специально для эксплуатации в условиях электрической тяги трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа АНЭ225Л4УХЛ2, с целью оснащения электровоза серии ВЛ85. При создании этой машины были резко повышены технические требования по сравнению с электродвигателями АЭ-92-4О2. В частности увеличен нижний предел допустимой температуры окружающего воздуха (с минус 50 °С до минус 60 °С), снижена мощность на единицу массы (до 55 кВт/375 кг, против 40 кВт/400 кг). Снижение мощности на единицу массы было осуществлено в основном за счёт упрощения конструкции ротора электродвигателя типа АНЭ225, по сравнению с электродвигателем типа АЭ (устранение в двигателях АНЭ225 осевых вентиляционных каналов в листах ротора, ликвидация специального вентилятора для охлаждения АВМ, открытый паз обмотки ротора). Следует отметить, что основным отличием системы фазорасщепления электровоза ВЛ-85 была замена специальной АВМ НБ-455 стандартным двигателем АНЭ225 с симметричной обмоткой статора, что отрицательно отразилось на эффективности расщепления фаз.

Рассмотрение статистических данных о надёжности оборудования электровозов переменного тока ВСЖД за последние годы эксплуатации показывает, что на долю отказов асинхронных вспомогательных машин (АВМ) приходится от 16,5 до 21,3% повреждений. Установлено, что у электровозов ВЛ85, которые выполняют большую часть работы в грузовом движении, отказы АВМ распределились следующим образом: 66,7% повреждений приходится на обмотки статоров, 22,2% связаны с выплавлением или обрывом стержней роторов, 11,1% отказов вызваны прочими причинами (в основном, подшипниковым узлом). Таким образом, отказы, связанные с выплавлением или обрывом стержней ротора на электродвигателе типа АНЭ225 составили более 20%.

В 2006-2007 гг. отмечен резкий рост количества случаев отказов АВМ типа НВА55 на электровозах ЭП1, ЭП1М, 2ЭС5К, 3ЭС5К. Особенно неудовлетворительное положение сложилось с отказами этих электродвигателей на электровозах 2ЭС5К, 3ЭС5К. В локомотивных депо Вихоревка и Смоляниново за период 2006-2008 гг. заменено 98 электродвигателей НВА55 или 14,2% от общего числа, что составляет 13,9 случаев на 1 млн. км пробега. Таким образом, показатель отказов электродвигателей НВА55 на электровозах 2ЭС5К, 3ЭС5К в 21 раз превышает среднесетевой показатель отказов вспомогательных электродвигателей серийных электровозов. Все повреждения электродвигателей НВА55 произошли на элек-



тровозах 2ЭС5К и 3ЭС5К в период гарантии.

Повреждения электродвигателей НВА55 в этих депо по характеру отказа распределились следующим образом: выплавление ротора – 86 случаев или 87,7%; короткое замыкание обмотки статора – 11 случаев или 11,2%; шум подшипника – 1 случай или 1,02%.

Ситуация по массовым отказам АВМ типа НВА55 повторилась в локомотивном депо Вихоревка в 2008-2009 гг.

Основная причина, которая была установлена в течение 2-3 лет эксплуатации электровоза – использование статической системы фазорасщепления взамен электромашинной. Однако на первых порах по устранению массовых выплавлений ротора старались ликвидировать эти явления путём увеличения ёмкости конденсаторов, то есть путём увеличения реактивной мощности ёмкостного характера, что приводило к еще большему увеличению числа отказов этой группы.

Анализ механических характеристик асинхронных двигателей типа АНЭ225 и НВА55, показывает, что при снижении напряжения до 280 В и отсутствии симметрирующих устройств вращающий момент двигателя снижается почти в 4 раза.

Следует также отметить, что проектирование асинхронных двигателей для привода вспомогательных механизмов с повышенными пусковыми и перегрузочными характеристиками без учета влияния токов прямой и обратной последовательности при значительных отклонении и несимметрии приложенных напряжений на параметры вторичной цепи весьма рискованно. Известно, что активное и индуктивное сопротивление ротора для токов прямой и обратной последовательности различны, так как частоты этих токов неодинаковы и влияние вытеснения тока будет сказываться в различной степени. В этой связи можно ожидать, что при значительной несимметрии приложенного напряжения степень влияния вихревых токов во вторичной цепи существенно выше, чем в первичной.

В проводниках обмотки ротора наблюдается влияние токов высокой частоты, наведенных отраженными волнами магнитного поля в воздушном зазоре, появляющимися под влиянием несимметрии питающего напряжения [3]. Наведенные токи высокой частоты приводят к проявлению скин-эффекта, заключающегося в нагреве поверхностного слоя проводников «беличьей клетки» ротора, чему дополнительно способствует открытый паз ротора. Это явление носит отрицательный характер применительно к специфике работы АВМ и приводит к отказу по причине выплавления стержней обмотки ротора.

Контрольные замеры ёмкости симметрирующих конденсаторов в локомотивном депо Вихоревка указали на значительное отклонение её от номинальных значений. Несоответствие качества энергии в цепях питания асинхронных вспомогательных машин показателям, приведенным в ГОСТ Р 50034-92 и ГОСТ 13109-97, с учетом которых проектируются асинхронные двигатели, приводит к отказам, причем не только по причине выплавления обмотки ротора.

Тенденция по снижению конструкционной надёжности АВМ электровозов переменного тока была определена политикой энергосбережения в ущерб политике повышения надёжности.

С целью повышения конструкционной надёжности необходимо оснащать электровозы многоканальными системами мониторинга и устройствами контроля качества электрической энергии в цепях питания тяговых электрических машин, так как практика эксплуатации тяговых электрических машин показывает, что увеличение срока службы и повышение надёжности работы их дает значительно больший экономический эффект, чем улучшение других технико-экономических показателей: КПД, коэффициента мощности, коэффициента использования и т.д. Так, например, для электродвигателя мощностью 55 кВт повышение КПД на 5% при его круглосуточной работе приводит к экономии средств на электроэнергию около 45000 руб. в год. Выход такого электродвигателя из строя повлечет за собой расходы только на его замену около 225000 руб., а затраты от нарушения технологического процесса перевозок могут многократно превышать его стоимость.

Для устранения явлений по массовому выплавлению обмоток роторов с дюралюминиевым сплавом на грузовых электровозах переменного тока в период внедрения электровозов серии «Ермак», на примере угольной промышленности, были испытаны образцы асинхронных вспомогательных двигателей с медной заливкой ротора [4]. При использовании статической системе расщепления фаз явления выплавления роторов с медными обмотками полностью исключить не удалось.

С целью повышения надёжности АВМ в настоящее время производится модернизация

системы питания вспомогательного привода на электровозах серии «Ермак» в локомотивном депо Вихоревка ВСЖД путём замены статической системы фазорасщепления на электромашинную. По информации специалистов локомотивного депо такая модернизация позволила почти полностью устранить отказы по выплавлению обмоток ротора. А это явление указывает, что при проектировании систем питания АВМ электровозов через статические фазорасщепители были упущены вопросы по качеству электрической энергии в цепях питания АВМ электровозов серии «Ермак». Был допущен дефицит индуктивной составляющей реактивной мощности в цепях питания АВМ, обеспечивающей создание эффективного вращающегося магнитного поля прямой последовательности. В связи с этим тезисом поставлена задача исследования структуры реактивной мощности в цепях питания АВМ на электровозах серии «Ермак» с целью создания наиболее эффективных систем расщепления фаз и контроля качества электрической энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Смирнов, В.П. Непрерывный контроль температуры предельно нагруженного оборудования электровоза: монография / В.П. Смирнов. -Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2003. -328 с.
- 2 Котеленец, Н.Ф. Испытание и надежность электрических машин: учеб. пособие / Н.Ф. Котеленец, Н.Л. Кузнецов. -М.: Высш. шк., 1988.
- 3 Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин: учеб. для вузов / И.П. Копылов. -3-е изд., перераб. и доп. -М.: Высш. шк., 2001. -327 с.: ил.
- 4 Чувашев, В.А. Совершенствование механической характеристики асинхронных двигателей угольных комбайнов / В.А. Чувашев // Взрывозащищённые электрические машины: сб. науч. тр. / ВНИИВЭ. -Донецк, 1985. -С. 76-85.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** асинхронный двигатель, расщепитель фаз, качество электроэнергии, скин-эффект  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Гарев Николай Николаевич, аспирант ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»  
 Иванов Павел Юрьевич, аспирант ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»  
 Выжимова Вера Николаевна, аспирант ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»  
 Дульский Евгений Юрьевич, аспирант ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА

«Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова»

**Н.М. Зайцева, Б.Б. Исабекова**

### EXPERIMENTAL DEFINITION OF SPECIFIC ELECTRIC RESISTANCE OF A GROUND

«Pavlodar state university named S. Toraygyrov»

N.M. Zaitseva, B.B. Isabekova

Experimental installations for definition of dependence of specific electric resistance of a ground from its humidity and temperature and dependence of specific resistance of a ground on density are offered.

*Keywords: experimental installation, specific electric resistance of a ground, ground, temperature, humidity, density*

Разработаны экспериментальные установки для определения зависимости удельного электрического сопротивления грунта от его влажности, температуры и плотности.

Известно, что удельное электрическое сопротивление  $\rho$  грунта зависит от влажности  $v$ , температуры  $t$  и плотности  $d$  его залегания, и колеблется в весьма широких пределах. Для этого, чтобы получить эти зависимости разработаны три лабораторных установки.

Первая позволяет найти зависимость  $\rho = f(v, t)$  [1]. Установка изготовлена из органического стекла в виде лабиринта (рисунок 1). Электроды выполнены из медной пластины, размеры электродов 44×40 мм, длина проводящего слоя грунта 1,6 м. Общий объем размещаемого в установке грунта 0,003 м<sup>3</sup>. Грунт определенной влажности помещается в лабиринт, где протекал переменный ток с частотой 50 Гц. Затем грунт охлаждался от температуры 20 °С до минус 20 °С. Температура измерялась с помощью трех термометров при трех разных напряжениях  $U_1 < U_2 < U_3$ . Температуру грунта на глубине заземлителей можно определить аналитически по [2]. Результаты измерений усреднялись. Величина значений  $U_1 < U_2 < U_3$  подбиралась таким образом, чтобы можно было замерить ток. При изготовлении установки и проведении измерений мы руководствовались методикой определения  $\rho$  грунта, изложенной в ГОСТ 9.602.89 Единой системы защиты от коррозии и старения. Погреш-

ность измерительных приборов составляла не более 0,5% по каждой шкале измерения.

Вторая установка, изображенная на рисунке 2 [3], применяется для грунтов в состоянии естественного залегания, например, для глин, суглинков, супесей, вынимаемых в виде кернов из глубин земли с помощью специальной буровой техники, применяемой при изыскательных работах. Керны представляют собой цилиндры грунта, упакованные во влагонепроницаемую бумагу. Для подготовки к эксперименту бумага с противоположных концов керна срезалась, образцы шлифовались, чтобы обеспечить максимально плотное прилегание электродов. К обоим концам образца грунта прижимались электроды, изготовленные из медной пластины, диаметр которых равнялся диаметру керна. Электроды крепились на изготовленные из дерева диски и прижимались к образцу посредством приспособления из резиновых лент.

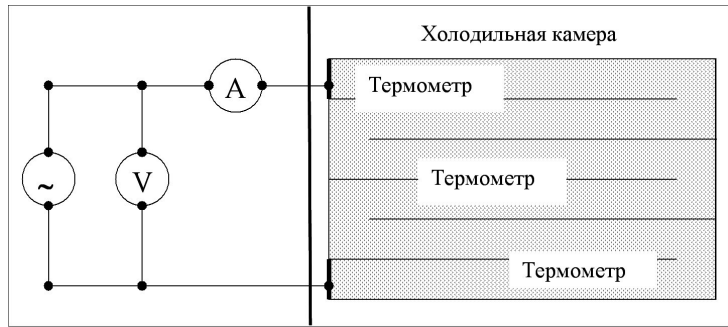


Рисунок 1 – Схема лабораторная установка для определения удельного электрического сопротивления грунта

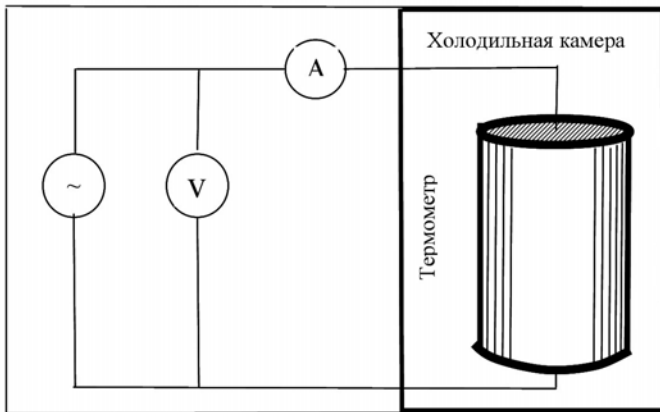


Рисунок 2 – Лабораторная установка для определения удельного электрического сопротивления грунта (в виде керна)

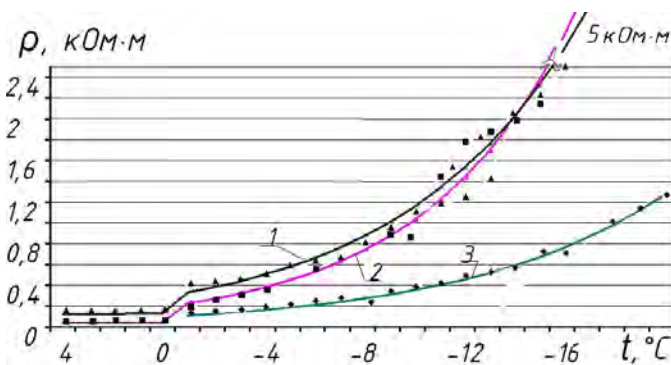


Рисунок 3 – Зависимости удельного электрического сопротивления грунта от температуры и влажности: 1-песок при  $v = 5\%$ ; 2-песок при  $v = 16\%$ ; 3-супеси при  $v = 16\%$

же нижнего и верхнего внешних электродов 8 и 9, закрепленных внизу и вверху трубы, с возможностью прижима к образцу грунта 10, помещенного в трубу, с помощью винта 11. Внешние электроды присоединены к источнику питания 12, а внутренние к полюсам вольтметра 14, ток в цепи измеряется амперметром 13.

Эксперимент проводился следующим образом: установка подключалась к источнику переменного тока с частотой 50 Гц, часть установки с керном помещалась в холодильную камеру с термометром, и начинался процесс охлаждения, где температура менялась 20 °С до минус 20 °С. Через определенные интервалы времени по показаниям приборов с учетом геометрических параметров образца грунта с определенной влажностью вычислялось новое значение удельного электрического сопротивления.

В результате экспериментов по ряду видов грунта получены зависимости  $\rho = f(v, t)$  [1, 3] представленные на рисунке 3.

Третья установка [4] создана для определения зависимости  $\rho = f(d)$  для ряда видов грунта. Она позволяет обеспечить возможность уплотнения образцов конкретного вида грунта от переложеного до плотности естественного залегания, и измерение электропроводности грунта при различной степени его плотности (рисунок 4).

Установка состоит из трубы 1, закрепленной вертикально на раме 2, установленной на упругих опорах 3, с возбудителем колебаний 4, двух внутренних электродов 5 и 6, размещенных в двух радиальных отверстиях, выполненных в средней части трубы, с уплотнением 7, а также

Установка работает следующим образом. В трубу загружают образец грунта известного веса и влажности, и подвергается виброобработке для достижения его уплотненности. Плотность определяется исходя из замеренной величины столба грунта в трубе, ее диаметра и известного веса грунта. Устанавливается верхний внешний упор и плотно прижимается винтом в поверхности грунта, в радиальные внутренние отверстия забиваются внутренние электроды. На внешние электроды подается заданное напряжение, а падение напряжения на внутренних электродах и ток измеряется соответствующими приборами.

Экспериментальные данные [5]  $\rho = f(d, v)$  для трех грунтов (супесь, суглинок и песок) показаны на рисунке 5. Причем, использовались сыпучие виды грунтов, не имеющие глыбистых образований, без примесей и больших пустот. Эксперименты показали, что супесь и песок очередь трудно трамбуются (у песка способность к разрыхлению составляет всего 5-15%) и, соответственно, длина столба грунта при его утряске изменялась в пределах от 1,98 до 1,78 м. Суглинок хорошо утрамбовывается и длина столба при его уплотнении изменялась от 1,98 м до 1,68 м. Эксперименты доказали, что удельное электрическое сопротивление сыпучих однородных грунтов, не имеющих глыбистых образований, растет при увеличении плотности. Результаты эксперимента противоречат существующему утверждению: чем выше плотность грунта, тем меньше его удельное электрическое сопротивление [6].

Для дальнейшего изучения изменения удельного электрического сопротивления грунта от его плотности установка (рисунок 4) была изменена следующим образом: уменьшена в 3 раза высота и увеличен в 8 раз диаметр трубы 1 и удален вибомеханизм. Такая модификация преследовала возможность закладки в трубу более неравномерных по своей структуре грунты, имеющих большие по размеру комья. При этом уплотнение грунта производилось с помощью трамбовки, чтобы максимально приблизить лабораторный процесс к естественному процессу уплотнения грунта при закладке устройств заземления.

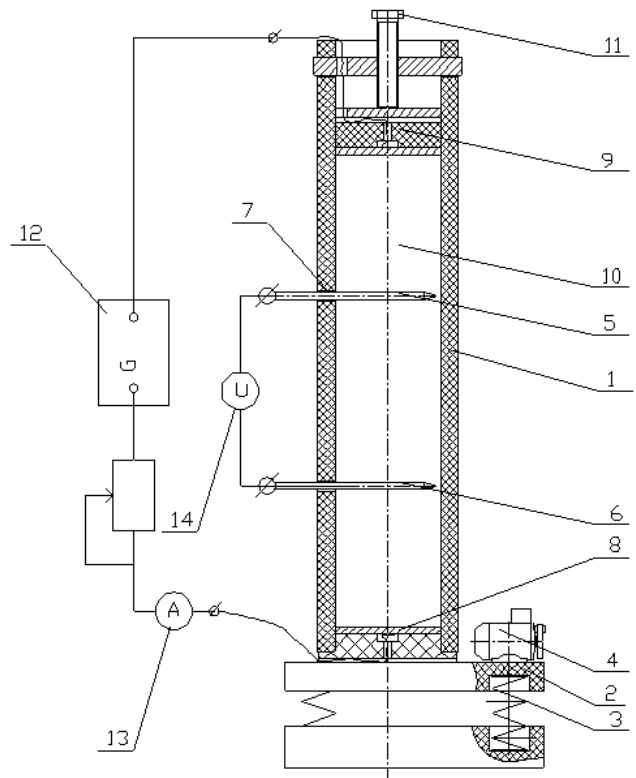


Рисунок 4 – Установка для определения удельного электрического сопротивления грунта от его плотности

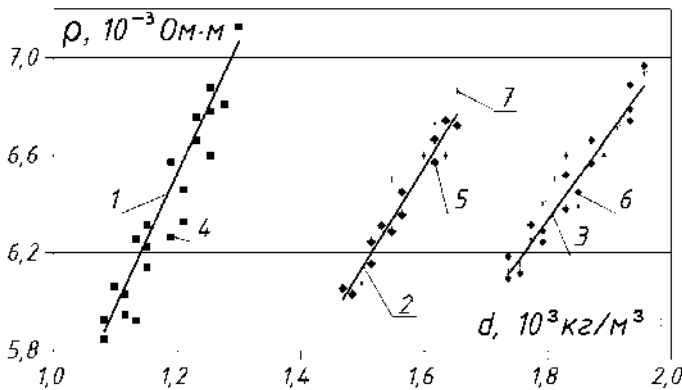


Рисунок 5 – Зависимость изменения удельного электрического сопротивления грунта от его плотности и влажности: 1-суглинок при  $v = 5\%$ ; 2-супесь при  $v = 3\%$ ; 3-песок при  $v = 0\%$ ; 4,5, 6-экспериментальные данные; 7-данные геологоразведочного центра

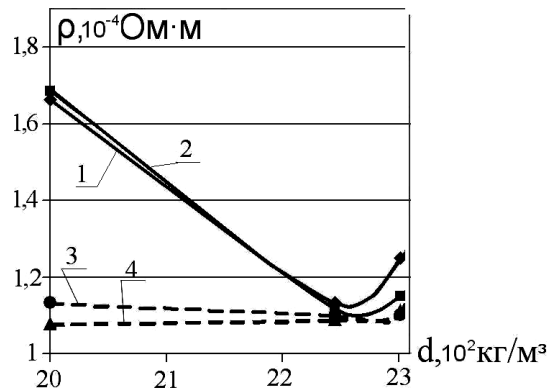


Рисунок 6 – Зависимость удельного электрического сопротивления песка от его плотности: 1,2-песок с камнями и пустотами; 3,4-однородный сыпучий песок

Эксперименты проводились следующим образом:

- 1) в трубу закладывался грунт, имеющий глыбистые образования;
- 2) установка подключалась к источнику переменного тока с частотой 50 Гц, и производились измерения удельного электрического сопротивления грунта;
- 3) грунт уплотнялся и повторялся п.2.

Уплотнения проводились до тех пор, пока длина столба грунта не прекращала уменьшаться.

В результате были получены зависимости, подтверждающие признанные в [6] утверждения и полученные ранее в [5] экспериментальные данные. Характер зависимости  $\rho = f(d)$  представлен рисунке 6. Полученные результаты могут быть использованы при корректировке параметров ЗУ электроустановок при последующем оседании грунта.

**Выводы:**

1 Разработаны установки, позволившие построить зависимости  $\rho = f(v,t)$  и  $\rho = f(d)$  и доказать их адекватность реальным значениям.

2 Доказано, что после достижения однородности структуры грунта при дальнейшем его уплотнении идет увеличение его удельного электрического сопротивления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Зайцева, Н.М. Зависимости удельного сопротивления грунта от влажности и температуры / Н.М. Зайцева, Д.С. Зайцев, М.Я. Клецель // Электричество. -2008. -№9.
- 2 Клецель, М.Я. Определение температуры грунта на глубине заземлителей / М.Я. Клецель, Н.М. Зайцева, Б.Б. Исабекова // Электричество. -2011. -№7. -С. 19-24.
- 3 Зайцева, Н.М. Методология построения модели электропроводности грунтов на основе нечеткой логики / Н.М. Зайцева // Сб. науч. тр. ИнЕУ. -Павлодар, 2007. -№1.
- 4 Инновационный пат. №20839 Республика Казахстан. Установка для определения электропроводности грунта / Зайцева Н.М., Зайцев Д.С. -Опуб. 16.02.09, Бюл. №2. -4 с. : ил.
- 5 Зайцева, Н.М. Зависимость удельного сопротивления грунта от плотности / Н.М. Зайцева, Б.Б. Исабекова, Д.С. Зайцев // Проблемы энергетики. -Казань, 2009. -№5/6.
- 6 Долин, П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: учеб. пособие для вузов / П.А. Долин. -М.: Энергоатомиздат, 1984. -448 с.: ил.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** экспериментальная установка, удельное электрическое сопротивление грунта, грунт, температура, влажность, плотность

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Зайцева Наталья Михайловна, канд. техн. наук, доцент «ПГУ им. С. Торайгырова»  
Исабекова Бибигуль Бейсембаевна, старший преподаватель «ПГУ им. С. Торайгырова»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64, «ПГУ им. С. Торайгырова»

## ПОДДЕРЖАНИЕ НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ РЕГУЛЯТОРОМ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

**В.З. Манусов, Э.Г. Ядагаев**

**WIND TURBINE GENERATORS NOMINAL ACTIVE POWER MAINTAINING BY APPLICATION OF FUZZY LOGIC REGULATOR**  
«Novosibirsk state technical university»  
V.Z. Manusov, E.G. Yadagaev

Fuzzy Logic based regulators acting sequence is given. Regulator application for wind turbine generators active power maintaining is shown. Concept of nominal active power maintaining by regulator using is described.

*Keywords: wind turbine generator, active power control, Fuzzy Logic, rule base*

Приведена последовательность действия контуров регулирования мощности ВЭУ на основе регулятора с использованием нечеткой логики. Показан принцип поддержания номинальной мощности ВЭУ в условиях непостоянства энергоносителя.

При работе ветроэнергетической установки (ВЭУ) на шины бесконечной мощности возможна передача мощности больше номинальной, способной вызвать повреждения вращающегося ротора и перегрев изоляции. Данный случай возможен при скорости ветра выше номинального значения. По этой причине, целью управления ВЭУ в режиме высоких скоростей ветра (выше номинального значения) является поддержание установленной мощности в условиях непостоянства энергоносителя – ветра [1]. Из функциональной схемы регулиро-

вания мощности ВЭУ на рисунке 1 видно, что контурами регулирования являются:

- изменение угла атаки лопасти ( $\alpha_{атаки}$ );
- поворот гондолы ( $d\psi$ );
- изменение длины лопасти ( $dL$ ).

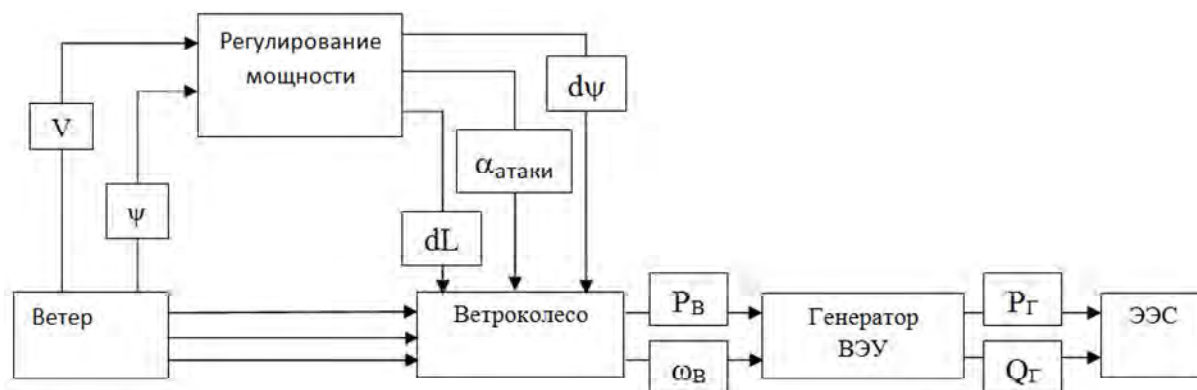


Рисунок 1 – Функциональная схема регулирования мощности ВЭУ

Для регулирования мощности трех ВЭУ с асинхронизированными синхронными генераторами (АСГ) мощностью  $P_e = 225$  кВт создана модель регулятора на основе нечеткой логики в программе MATLAB Fuzzy Logic. Модель состоит из следующих блоков: две входные переменные, база правил и три выходные переменные (рисунок 2).

Проектирование нечеткой модели начинается с определения функций принадлежности для ненулевых термов, лингвистически характеризующих входные и выходные переменные [2]. В качестве входных переменных приняты скорость ветра и угол между направлением ветра и положением гондолы, выходных – угол атаки лопасти, угол поворота гондолы, изменение длины лопасти.

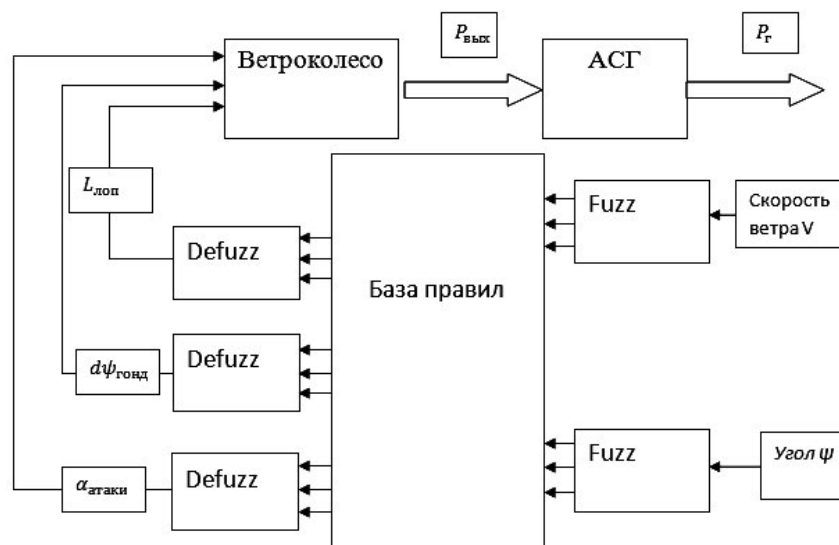


Рисунок 2 – Модель регулятора на основе нечеткой логики

База правил состоит из 16 продукционных правил типа «если-тогда». Результатом графического представления базы правил являются трехмерные поверхности для изменения угла атаки лопасти (рисунок 3), поворота гондолы (рисунок 4) и изменения длины лопасти (рисунок 5).

Независимо от источника динамические нагрузки на лопасть влияют на массу и стоимость почти всех компонентов конструкции. Поэтому максимальная угловая скорость поворота лопасти ограничивается и равна 4 секундам на полный оборот вокруг оси. Угол атаки лопасти изменяется в пределах  $\alpha_{атаки} = 0-45^\circ$ . Зависимость коэффициента использования энергии ветра от угла атаки лопасти описывается формулой

$$C_p = \frac{1}{2}(z - 0,022\alpha^2 - 5,6)\exp(-0,17z),$$

где  $z$  – быстроходность, один из основных параметров, характеризующих работу ВЭУ (для выбранных ВЭУ  $z = 8,2$ ).

Из уравнения видно, что при  $\alpha_{атаки} = 0^\circ$  достигается максимальное значение коэффициента  $C_p = 0,41$ . Изменяя угол атаки лопасти, можно регулировать выработку мощности ВЭУ и скорости вращения ветроколеса.

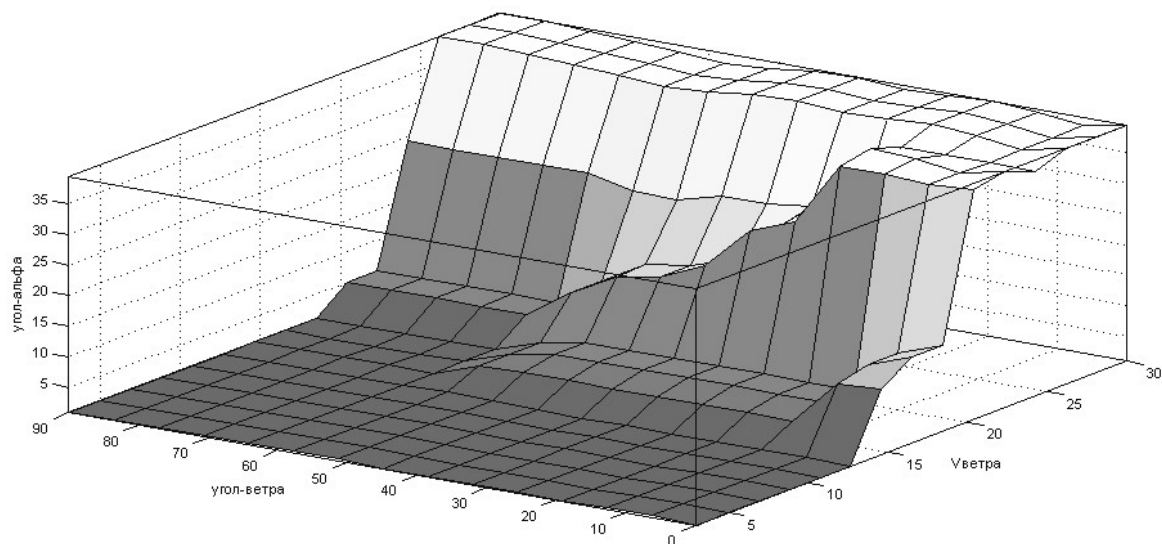


Рисунок 3 – Поверхность базы правил для угла атаки лопасти

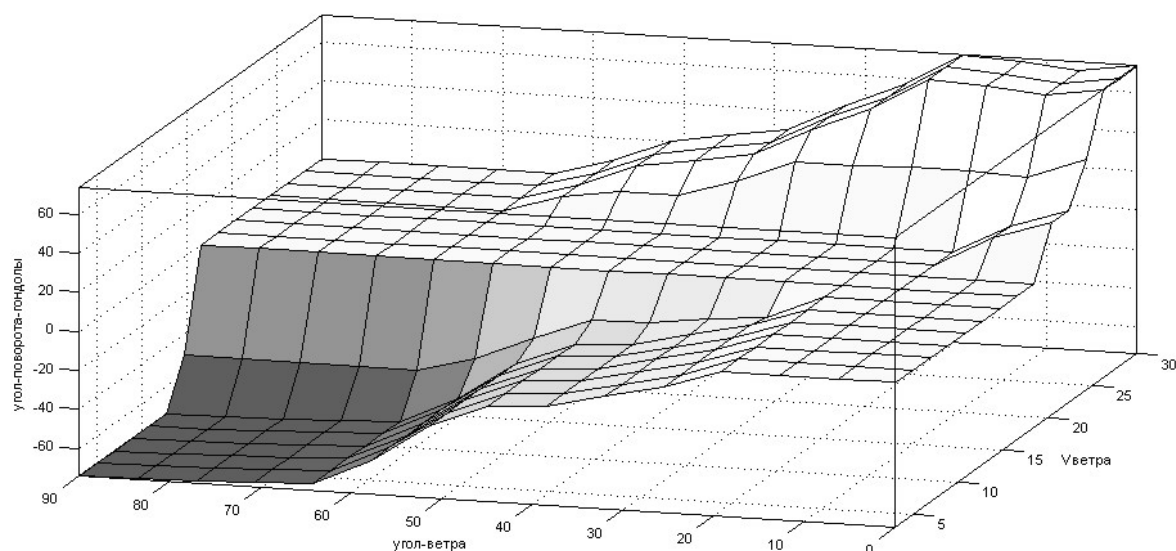


Рисунок 4 – Поверхность базы правил для поворота гондолы

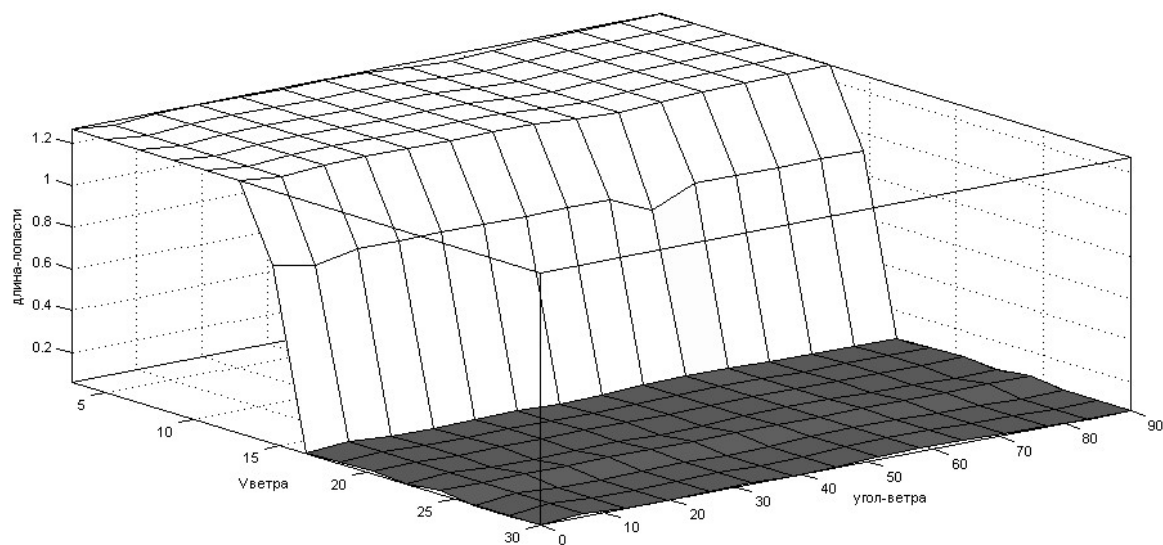


Рисунок 5 – Поверхность базы правил для изменения длины лопасти



Поворот гондолы осуществляется при невозможности ограничения мощности только за счет изменения угла атаки лопасти. При одновременном запуске контуров изменения угла атаки лопасти и поворота гондолы возможно перерегулирование в сторону уменьшения мощности. Поворот гондолы уменьшает мощность в  $\cos^3 \psi$  раз, поэтому в режиме ограничения мощности первым запускается регулирование угла атаки лопасти. При углах  $\psi = 0-20^\circ$  мощность ВЭУ падает незначительно, при углах же выше  $20^\circ$  мощность резко падает, что и предопределяет использование поворота гондолы для наведения к ветру в режиме рабочих ветров или от ветра в режиме отключения ВЭУ.

Длина лопасти увеличивается до достижения номинальной мощности, далее плавно уменьшается для поддержания номинального значения выходной мощности. Диапазон регулирования  $L_{\text{лоп}} = 13,5-14,85$  м. Регулирование длины производится командами «сильно увеличить» для рабочих ветров, «сильно уменьшить» – для высоких ветров в режиме ограничения мощности.

Результат функционирования регулятора на нечеткой логике в режиме ограничения мощности ( $V = 14,5-25$  м/с) представлен в виде графиков.

График мощности ВЭУ представлен на рисунке 6. При  $t = 2-4$  с достигается выработка номинальной мощности, далее система управления активизирует контуры регулирования для ограничения мощности.

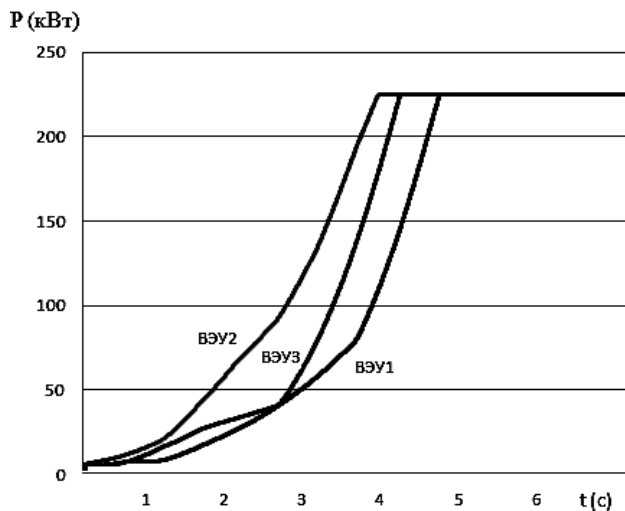


Рисунок 6 – Мощность ВЭУ

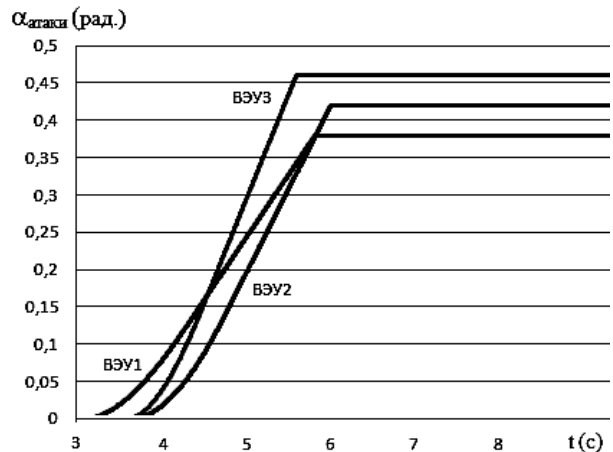


Рисунок 7 – Угол атаки лопасти

Результатом регулирования является поддержание номинальной мощности.

Рассмотрим работу контуров регулирования по ограничению мощности ВЭУ. Выходная мощность достигает номинального значения, ВЭУ переходит в режим ограничения мощности. Регулятор выдает команду на увеличение угла атаки. Воздушный поток каждого ВЭУ отличается, поэтому углы атаки лопасти изменяются по-разному, устанавливаясь на оптимальное значение, что видно на рисунке 7.

Из анализа рисунка 6 и рисунка 7 видно, что по достижении ВЭУ номинальной мощности запускается алгоритм увеличения угла атаки лопасти. База правил выдает значение «немного увеличить» при скорости ветра  $V = 14,5-20$  м/с, устанавливая углы атаки  $\alpha_{\text{атаки}} = 0,4-0,5$  рад. или  $22-28^\circ$ . Команда на установку угла лопасти в оптимальное положение выполняется с запаздыванием. Запаздывание равно времени, необходимое приводному механизму для механического поворота лопасти в соответствующее положение. Центробежные силы, развивающиеся в лопастях при таких скоростях, вызывают механические перенапряжения, которые должны быть учтены на этапе проектирования и выбора местоположения ВЭУ.

На рисунке 8 видно, что во всем рассматриваемом диапазоне углы рассогласования  $\psi$  изменяются в соответствии с изменением направления ветра относительно неподвижных гондол ВЭУ, то есть контур управления поворота гондолы не запускается.

Длина лопасти в режиме ограничения мощности уменьшается по команде регулятора «сильно уменьшить» (рисунок 9).

По результатам работы регулятора можно сделать выводы:



– плавное удержание номинальной мощности достигается изменением угла атаки лопасти и уменьшением длины лопасти;

– регулирование мощности осуществляется дружественным и понятным человеком представлением знания;

– в неявной форме обеспечивается демпфирование при переходе параметров из одного множества в другое, так как регулятор спроектирован нечувствительным к изменению параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Андрианов, В.Н. Ветроэлектрические станции / В.Н. Андрианов. -М.; Л.: Госэнергоиздат, 1960. -320 с.

2 Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. -СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 736 с.: ил.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ветро-энергетическая установка, регулирование мощности, нечеткая логика, база правил

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
Ядагаев Эркемен Геннадьевич, аспирант ФГБОУ ВПО «НГТУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

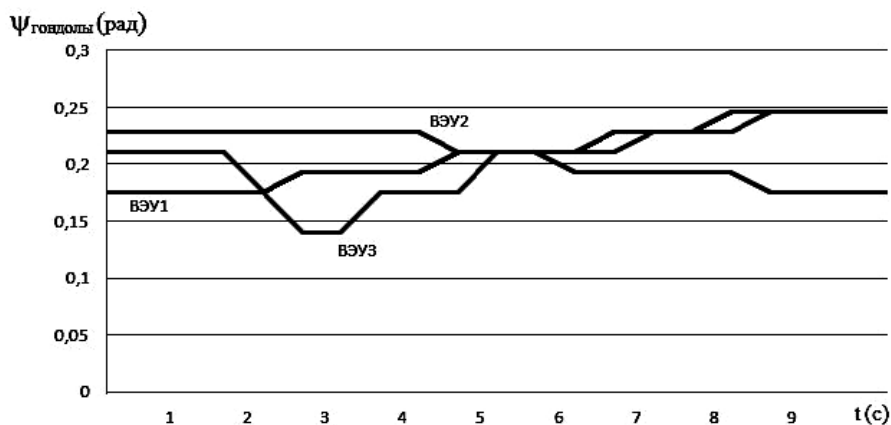


Рисунок 8 – Угол рассогласования

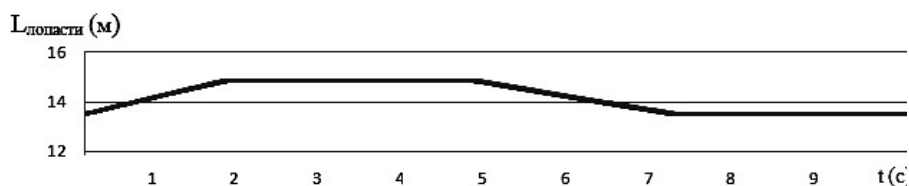


Рисунок 9 – Длина лопасти ветроколеса

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

**В.З. Манусов, Н.В. Александров**

**HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTING TRANSFORMERS APPLYING EFFECTIVENESS IN POWER SYSTEMS**

«Novosibirsk state technical university»

V.Z. Manusov, N.V. Aleksandrov

The article deals with advantages of high temperature superconducting transformers. Impact assessment on power systems steady-state stability is considered.

*Keywords: HTS transformers, steady-state stability, power systems*

Рассмотрены преимущества высокотемпературных сверхпроводящих трансформаторов. Производится оценка влияния на статическую устойчивость электроэнергетической системы.

Рост потребления электроэнергии сопровождается требованием экономичности энергообеспечения, повышения его качества и надежности. Одним из основных требований является снижение потерь электроэнергии экономически оправданными средствами. Открытие в 1980-х годах материалов, обладающих высокотемпературной сверхпроводимостью (ВТСП), открыло новые перспективы создания трансформаторов со сниженными потерями. Удалось преодолеть главное препятствие использования сверхпроводимости: громоздкие криогенные системы получения жидкого гелия были заменены простыми установками жидкого азота при атмосферном давлении [1]. Высокотемпературными сверхпроводниками в отечествен-

ной и зарубежной литературе принято называть сверхпроводники жидкоазотного уровня температур (77 К).

ВТСП трансформаторы обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными силовыми трансформаторами:

- низкие нагрузочные потери;
- большая перегрузочная способность;
- нестареющая высококачественная изоляция;
- способность ограничивать токи короткого замыкания (КЗ);
- меньшие массогабаритные показатели;
- меньшие уровни шумов;
- меньшая мощность, затрачиваемая на охлаждение;
- экологическая безопасность.

Стоит отметить, что способность ограничивать токи короткого замыкания предусматривается конструктивными решениями, то есть трансформатор может быть как с функцией ограничения тока КЗ так и без этой функции. Использование способности ограничения тока КЗ позволит:

- снизить прямой и косвенный ущерб сетей и потребителей энергии от коротких замыканий;
- снизить негативное динамическое воздействие токов КЗ на сетевое оборудование;
- снизить требования, предъявляемые к сетевому оборудованию, на устойчивость к воздействию ударных токов, и соответственно, его стоимости;
- увеличить срок службы электроэнергетического оборудования;
- повысить надежность энергосистем;
- повысить качество электроснабжения.

Использование ВТСП трансформаторов (автотрансформаторов) на крупных подстанциях окажет влияние на устойчивость электроэнергетической системы. Заметное влияние на динамическую устойчивость возможно при использовании функции ограничения тока КЗ. Однако при этом нужно учесть, что ВТСП трансформаторам может потребоваться некоторое время на возврат из нормального состояния в сверхпроводящее. Это время может оказаться недопустимым с точки зрения перерыва электроснабжения. Поэтому вопрос касающийся ограничения тока КЗ трансформаторами большой мощности требует отдельного изучения.

Влияние на статическую устойчивость будет иметь место в любом случае. Для оценки влияния ВТСП трансформатора на статическую устойчивость в качестве примера рассмотрим две электростанции, соизмеримые по мощности и работающие на общую нагрузку. Схема сети приведена на рисунке 1.

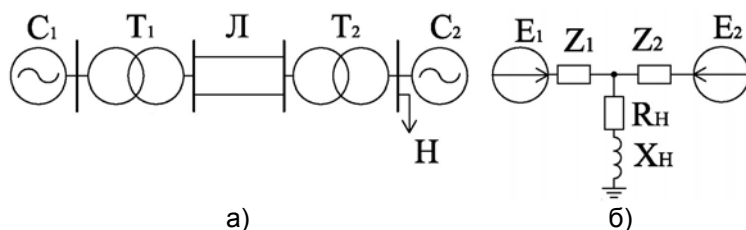


Рисунок 1 – Принципиальная схема и схема замещения системы с двумя электростанциями

Параметры рассматриваемой схемы:

– система

$$E_1 = 115 \text{ кВ}; X_{C1} = 15 \text{ Ом}; E_2 = 115 \text{ кВ}; X_{C2} = 20 \text{ Ом};$$

– трансформатор

$$U_{BH} = 242 \text{ кВ}; S_{ном} = 250 \text{ МВА}; U_K = 11\%;$$

– ВТСП трансформатор [2]

$$U_{BH} = 242 \text{ кВ}; S_{ном} = 250 \text{ МВА}; U_K = 3\%;$$

– линия

$$x_{y\delta} = 0,43 \text{ Ом/км}; r_{y\delta} = 0,12 \text{ Ом/км}; \ell = 100 \text{ км}.$$

Угловая характеристика мощности, для рассматриваемой сети, определяется выражением [3]

$$P_1(\delta) = E_1^2 y_{11} \sin \alpha_{11} + E_1 E_2 y_{12} \sin(\delta_{12} - \alpha_{12}),$$

где  $\alpha_{11}, \alpha_{12}$  – углы, дополняющие углы комплексных сопротивлений связи до  $90^\circ$

$$\alpha_{11} = 90^\circ - \arctg(X_{11}/R_{11}); \alpha_{12} = 90^\circ - \arctg(X_{12}/R_{12});$$

$y_{11}, y_{12}$  – собственные и взаимные проводимости;

$$y_{11} = |Y_{11}| = \left| \frac{1}{Z_{11}} \right| = \left| \frac{Z_2 + Z_3}{Z_1 + Z_2 Z_3} \right|; \quad y_{12} = |Y_{12}| = \left| \frac{1}{Z_{12}} \right| = \left| \frac{Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_1 Z_2} \right|;$$

$$Z_1 = jX_{C1} + jX_{T1} + R_{л} + jX_{л} + jX_{T2}; \quad Z_2 = jX_{C2}; \quad Z_3 = R_{H} + jX_{H}.$$

При использовании ВТСП трансформаторов сопротивления традиционных трансформаторов  $X_{T1}$  и  $X_{T2}$  заменяются соответственно на  $X_{T1}^{ВТСП}$  и  $X_{T2}^{ВТСП}$ . Построим характеристики мощности для случая использования традиционных трансформаторов (кривая 2 на рисунке 2) и для случая использования ВТСП трансформаторов (кривая 1 на рисунке 2).

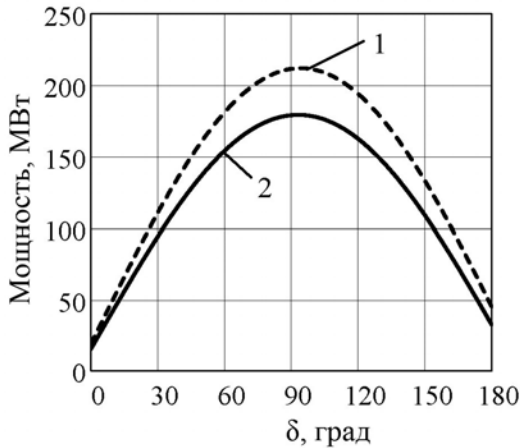


Рисунок 2 – Характеристики мощности

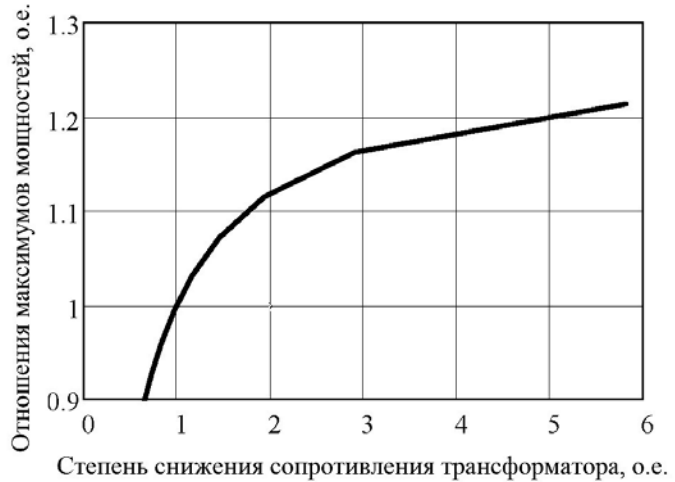


Рисунок 3 – Зависимость отношения максимумов мощностей от степени снижения сопротивления трансформатора

Из рисунка 2 очевидно, что

$$\frac{dP^{ВТСП}(\delta)}{d\delta} > \frac{dP(\delta)}{d\delta},$$

то есть возрастает величина синхронизирующей мощности.

Величина индуктивного сопротивления ВТСП трансформатора зависит от принятых конструктивных решений (размеры обмоток, параметры ВТСП провода и т.д.) и как следствие предел передаваемой мощности может варьироваться в зависимости от степени снижения сопротивления трансформатора.

Определим соотношение максимумов характеристик мощности для случаев использования ВТСП трансформатора и традиционного трансформатора (при равенстве ЭДС систем)

$$\frac{P_{МАКС}^{ВТСП}}{P_{МАКС}} = \frac{E_1^2 y_{11}^{ВТСП} \sin \alpha_{11}^{ВТСП} + E_1 E_2 y_{12}^{ВТСП}}{E_1^2 y_{11} \sin \alpha_{11} + E_1 E_2 y_{12}} = \frac{y_{11}^{ВТСП} \sin \alpha_{11}^{ВТСП} + y_{12}^{ВТСП}}{y_{11} \sin \alpha_{11} + y_{12}},$$

и построим зависимость этого соотношения от степени снижения сопротивления трансформатора (рисунок 3). Из рисунка 3 видно, что при замене обычного трансформатора на ВТСП трансформатор последний оказывает заметное влияние на предел передаваемой мощности. При принятом сопротивлении ВТСП трансформатора (3%) предел передаваемой мощности увеличивается на

$$\frac{P_{МАКС}^{ВТСП} - P_{МАКС}}{P_{МАКС}} \cdot 100 = \frac{211,9 - 179,1}{179,1} \cdot 100 = 18,3\%.$$

Таким образом, ВТСП трансформатор оказывает положительное влияние на предел передаваемой мощности. Стоит отметить, что увеличение предела передаваемой мощности зависит от места установки трансформатора в электроэнергетической системе. Так, в рассматриваемом случае, когда ВТСП трансформатор устанавливался в качестве трансформатора межсистемной связи, влияние было большим. Но в случае установки, например, в блоке генератор – трансформатор влияние на предел передаваемой мощности будет менее выражен.

Сегодня трудно сказать, какая комбинация свойств ВТСП трансформаторов окажется лучшей и будет пользоваться наибольшим спросом. Однако, покупка вначале 2012 г. госкорпорацией «Росатом» технологии производства ВТСП проводов у немецкой фирмы «Briker»

позволяет надеяться на активизацию исследований в области всего сверхпроводникового оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лизунов, С.Д. Проблемы современного трансформаторостроения / С.Д. Лизунов, А.К. Лоханин // Электричество. -2000. - №9.
- 2 Sissimatos, E. High-temperature superconducting power transformers with fault current limiting properties / E. Sissimatos // Physica, 2002. -С. 372-376, 1698-1701.
- 3 Жданов, П.С. Вопросы устойчивости электрических систем / П.С. Жданов; под ред. Л.А. Жукова. -М.: Энергия, 1979. - 456 с.: ил.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ВТСП трансформаторы, статическая устойчивость, электроэнергетические системы  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
Александров Николай Васильевич, аспирант ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

## **АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАБОТЫ НЕЗАЗЕМЛЁННЫХ РЕАКТОРОВ В СОСТАВЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ КОМПЕНСАЦИИ ЛИНИЙ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

**ЗАО «Сибирская электротехника»**

**Е.Н. Красильников**

**THE ANALYSIS OF OPERATING CONDITIONS OF NOT EARTHED REACTORS IN STRUCTURE OF THE COMBINED SHUNT COMPENSATION OF VERY HIGH VOLTAGE LINES**  
«Siberian electrical engineering»  
E.N. Krasilnikov

The combined shunt compensation of EHV lines containing besides traditional shunting reactors, connected to a line by reactor switches, also constantly connected reactors under the scheme of a star with not earthed neutral is considered. In normal conditions the voltage on a neutral is absent. Increases of voltage on a neutral in emergency operation are analyzed at liquidation of short circuits on a line.

*Keywords: EHV line, shunting reactor, reactor with not earthed neutral, voltage on a neutral*

Рассматривается комбинированная поперечная компенсация ВЛ СВН, содержащая помимо традиционных шунтирующих реакторов также постоянно подсоединенные реакторы по схеме звезды с незаземленной нейтралью. В нормальных режимах напряжение на нейтрали отсутствует. Анализируются повышения напряжений на нейтрали в аварийных режимах при ликвидации коротких замыканий на линии.

Шунтирующие реакторы (ШР), которыми оснащены электропередачи сверхвысокого напряжения (СВН), в общем случае выполняют три важнейшие функции (рисунок 1). Это – компенсация зарядной мощности в нормальных режимах, ограничение внутренних перенапряжений при вводе линии в работу и в аварийных режимах, а также снижение токов дуги подпитки для осуществления успешного однофазного автоматического повторного включения (ОАПВ) при ликвидации наиболее вероятных однофазных коротких замыканий (КЗ) [1-3].

Традиционной поперечной компенсации присущи, по крайней мере, три недостатка. Первый недостаток состоит в возможности появления резонансных повышений напряжения в неполнофазных режимах, что накладывает ограничение на число подключенных к линии ШР при её плановых и аварийных коммутациях [2]. Второй недостаток связан с необходимостью коммутации реакторных выключателей для введения в работу всех ШР в паузу ОАПВ для обеспечения условий гашения дуги подпитки, поскольку в нормальных режимах при передаче значительных мощностей ШР, как правило, отключены от линии электропередачи реакторными выключателями по условиям режима напряжений. При этом отказ любой фазы одного из выключателей приводит к невозможности проведения ОАПВ, что усугубляет аварийную ситуацию и тем самым снижает надежность работы. Третий недостаток состоит в том, что подключение ШР при осуществлении ОАПВ приводит к понижению напряжения на шинах и соответственно снижает пропускную способность электропередачи по условию динамической устойчивости.

Указанные недостатки традиционной схемы компенсации предлагается исключить за счет комбинированной поперечной компенсации (рисунок 2), суть которой состоит в использовании незаземлённых реакторов (НР), подключаемых по концам линии по схеме звезды с

незаземленной нейтралью [4].

В работах [5, 6] показана высокая эффективность использования комбинированной поперечной компенсации для исключения резонансных перенапряжений в линиях при их неполнофазных режимах и для ликвидации наиболее вероятных однофазных КЗ в цикле ОАПВ.

В различных аварийных режимах на нейтрали НР возможно возникновение повышений напряжения, определяемых как

$$U_n = (U_a + U_b + U_c) / 3,$$

где  $U_a, U_b, U_c$  – фазные напряжения, воздействующие на НР.

В нормальных режимах  $U_n = 0$ , то есть напряжение на нейтрали НР отсутствует. Воздействие напряжений на изоляцию нейтрали в наибольшей степени проявляется при неполнофазных включениях линии и при возникновении и ликвидации КЗ на линии.

На рисунке 3 приведена схема, моделирующая возможность возникновения неполнофазных режимов в случае отказов или больших разбросов в коммутации фаз выключателей.

Из проведённых расчётов повышений напряжений на нейтрали НР для линий напряжением 750 кВ длиной 330 и 500 км для случаев одной и двух невключённых фаз следует, что

$$U_n < 0,6 U_{ф.нр},$$

где  $U_{ф.нр}$  – наибольшее рабочее фазное напряжение.

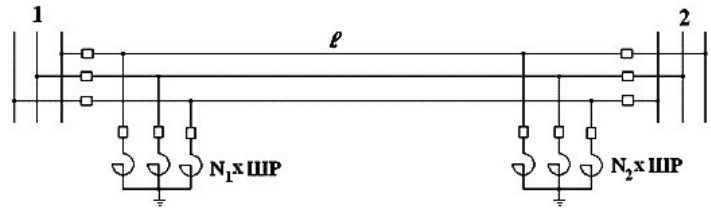


Рисунок 1 – Традиционная поперечная компенсация

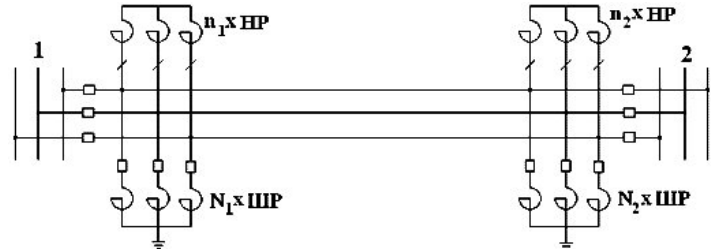


Рисунок 2 – Комбинированная поперечная компенсация

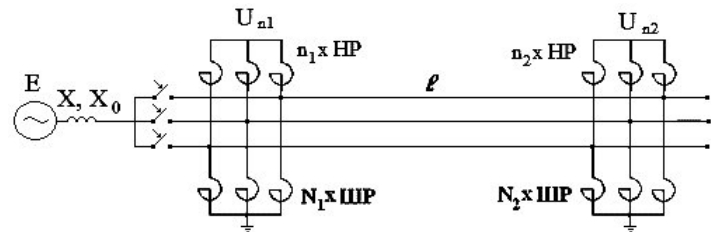


Рисунок 3 – Неполнофазные режимы при одностороннем включении линии

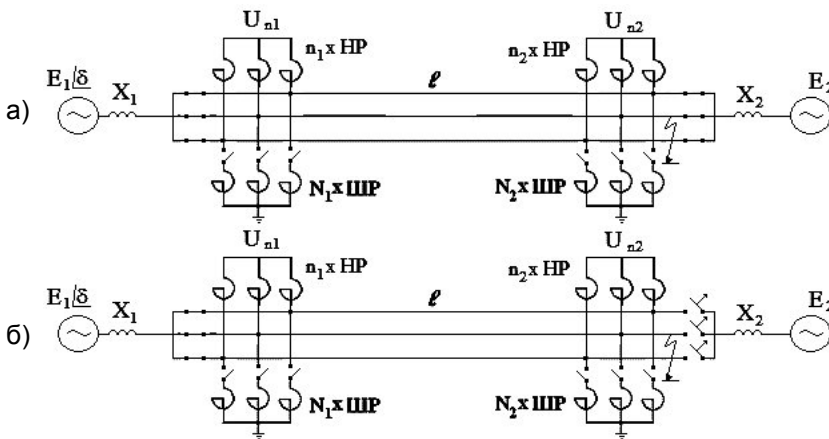


Рисунок 4 – Ликвидация двухфазного КЗ на землю: а) – режим двухфазного КЗ; б) – одностороннее отключение линии с двухфазным КЗ

двух сторон при ещё непогаснувшей дуге подпитки (рисунок 5б) повышения напряжения на нейтрали удовлетворяют условию  $U_n < 1,3 U_{ф.нр}$ . Для этих двух этапов угол между ЭДС при-  
 мыкающих систем практически равен углу между ними в исходном нормальном режиме  $\delta \approx \delta_0 = 45-55^\circ$ . Для обеспечения гашения дуги подпитки к аварийной фазе подключаются на втором этапе ШР.

Анализ повышений напряжения на нейтрали НР при ликвидации двухфазных КЗ на землю показал, что в режиме КЗ (рисунок 4а) имеет место  $U_n < 1,3 U_{ф.нр}$  и в режиме одностороннего отключения линии с двухфазным КЗ (рисунок 4б) имеем  $U_n < 0,5 U_{ф.нр}$ .

Исследование повышений напряжения на нейтрали НР при ликвидации однофазного КЗ в цикле ОАПВ охватывает несколько последовательных этапов. В режиме однофазного КЗ (рисунок 5а) и при отключении аварийной фазы с

В течение третьего этапа (рисунок 5в) происходит гашение дуги подпитки, и в процессе динамического перехода угол между ЭДС систем может достигать значений  $\delta = 100-120^\circ$ . Максимальные повышения напряжений на нейтрали ограничиваются величиной  $U_n < 0,4U_{ф.нр}$  при угле расхождения ЭДС  $\delta = 120^\circ$ .

На четвёртом этапе (рисунок 5г) при одностороннем включении фазы также следует учитывать возможность расхождения угла между ЭДС до  $120^\circ$ . Повышения напряжения на нейтрали для этого случая не превышают значений  $U_n < 0,7U_{ф.нр}$  при угле расхождения ЭДС примыкающих систем  $\delta = 120^\circ$ .

Поскольку повышения напряжений на нейтрали более чем в два раза меньше воздействий на фазовую изоляцию оборудования, то уровень изоляции нейтрали можно выбирать пониженным и соответствующим классу 330 кВ.

Для защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений в нейтрали устанавливается защитный аппарат типа ОПН-330. Требования к величине допустимых повышений напряжений на нейтрали в этом случае диктуются условиями работы защитного аппарата.

Для линий СВН в качестве основных релейных защит используются быстродействующие защиты. Поэтому длительность неполнофазных режимов, возникающих при одностороннем включении линии, а также различных режимов при ликвидации двухфазных и однофазных КЗ при действии таких защит не будет превышать 0,15 с. Более длительные повышения напряжения в пределах одной секунды будут иметь место в течение паузы ОАПВ.

Сопоставление допустимых [2] и воздействующих повышений напряжения на нейтрали НР напряжением 750 кВ показывает достаточность выбранного класса изоляции 330 кВ для нейтрали этого реактора. Анализ, аналогичный вышеприведённому, показал, что для незаземлённых реакторов напряжением 500 кВ достаточный класс изоляции нейтрали составляет 220 кВ.

Выводы.

1 В аварийных режимах при неполнофазных включениях и при ликвидации коротких замыканий на линии повышения напряжений на нейтрали при длительности 0,15 с не превышает 70%, а при длительности порядка 1,0 с, что соответствует продолжительности паузы ОАПВ, не превосходят 40% от наибольшего рабочего фазного напряжения линии.

2 Для незаземлённых реакторов напряжением 750 кВ рекомендуется класс изоляции нейтрали 330 кВ, а для реакторов, устанавливаемых на линиях 500 кВ, соответственно 220 кВ.

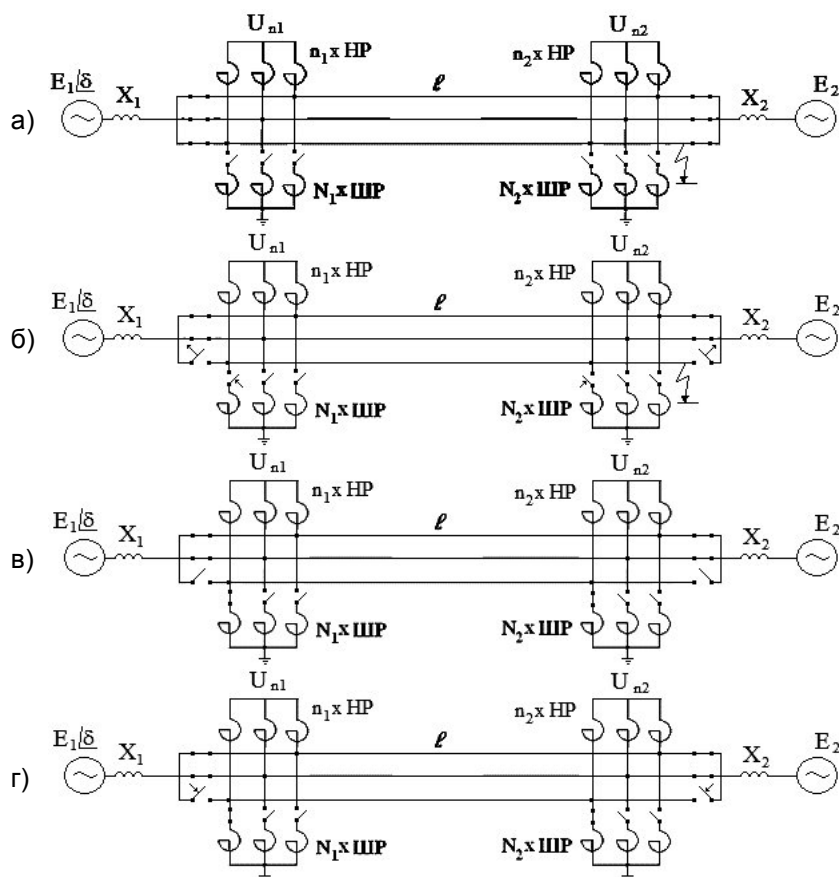


Рисунок 5 – Ликвидация однофазного КЗ в цикле ОАПВ: а) режим однофазного ОАПВ; б) двустороннее отключение аварийной фазы линии; в) пауза ОАПВ при погашенной дуге подпитки; г) одностороннее включение фазы в цикле ОАПВ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Мельников, Н.А. Проектирование электрической части ВЛ электропередачи 330-500 кВ / Н.А. Мельников, С.С. Рокотян, А.Н. Шерендис. -М.: Энергия, 1974.  
 2 Проектирование линий электропередачи сверхвысокого напряжения / под ред. Г.Н. Александрова. -Л.: Энергоатомиздат, 1993. -560 с.  
 3 Беляков, Н.Н. Использование компенсационных реакторов для облегчения условий ОАПВ на высоковольтных линиях / Н.Н. Беляков, В.С. Рашкес, С.Н. Рожавская // Электр. станции. -1975. -№12. -С. 68-72.

4 Пат. 2351050 Российская Федерация. Устройство поперечной компенсации для линии электропередачи / С.М. Зильберман, Т.Г. Красильникова, Г.И. Самородов. -Опубл. 2009, Бюл. №9.

5 Зильберман, С.М. Исключение резонансных перенапряжений в неполнофазных режимах в линиях СВН с комбинированной поперечной компенсацией / С.М. Зильберман, Е.Н. Красильников // Вестн. Ассоциации выпускников КГТУ. -2011. - Вып. 20.

6 Красильников, Е.Н. Повышение эффективности ОАПВ при комбинированной компенсации линий сверхвысокого напряжения / Е.Н. Красильников // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№2. -С. 401-404

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** линия сверхвысокого напряжения, шунтирующий реактор, реактор с незаземлённой нейтралью, повышения напряжений на нейтрали

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Красильников Евгений Николаевич, генеральный директор ЗАО «СИБЭЛ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630027, г. Новосибирск, ул. Дунаевского, 16, ЗАО «СИБЭЛ»

## **СОПОСТАВЛЕНИЕ ОТСТРОЕННОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ ГЕНЕРАТОРА ОТ ВНЕШНИХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ ПРИ НАСЫЩЕНИЯХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА**

**ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»**

**В.Е. Глазырин, А.А. Осинцев**

**COMPARISON OF THE NUMERICAL GENERATOR DIFFERENTIAL RELAYS RESISTANCE TO EXTERNAL PHASE-TO-PHASE FAULT UNDER CURRENT TRANSFORMER SATURATION**

**«Novosibirsk state technical university»**

V.E. Glazirin, A.A. Osintsev

A methodology of estimation and comparison of the generator differential protection algorithms under external phase faults with current transformer saturations, which is based on information from technical documentation, is proposed in the paper.

*Keywords: differential protection, restraint, misoperation resistance*

Предложена методика оценки и сопоставления алгоритмов функционирования дифференциальной защиты генератора в режимах внешнего короткого замыкания при насыщениях трансформаторов тока на основе информации, указанной в технической документации устройств.

Основной защитой генератора от внутренних междуфазных коротких замыканий (КЗ) является продольная дифференциальная защита (ДЗГ). В переходных режимах внешнего КЗ, когда возможны значительные погрешности трансформаторов тока (ТТ), существует вероятность нарушения устойчивости функционирования ДЗГ. По этой причине разработчики микропроцессорных ДЗГ принимают ряд мер, повышающие отстроенность их защит от таких режимов.

Во-первых, в большинстве алгоритмов исследуемых защит используется цифровая фильтрация входных сигналов для выделения основных гармоник токов плеч защиты, а также для подавления аperiodических и высших гармонических составляющих. В устройствах в качестве рабочего сигнала используется модуль дифференциального тока, рассчитываемого как векторная сумма первых гармоник токов плеч защиты.

Во-вторых, для отстройки от токов небаланса используется принцип торможения. Однако у всех используемых разработчиками способов формирования тормозного сигнала имеется общий недостаток, заключающийся в снижении тормозного сигнала при насыщении ТТ защиты, то есть именно в тот момент, когда резко возрастает ток небаланса. Поэтому все производители в своих алгоритмах ДЗГ используют дополнительные средства отстройки от неправильных действий в переходных режимах внешних КЗ.

**Защита фирмы Siemens.** В алгоритм дифференциальной защиты, выполненной в терминале SIPROTEC 7UM62, заложен принцип торможения суммой модулей токов плеч. При этом берется его среднее значение за несколько выборок, что позволяет уменьшить влияние переходного процесса в цифровом фильтре на работу защиты [1]. Поскольку в документации отсутствует информация о периоде усреднения тормозного сигнала, при моделировании алгоритма функционирования защиты в дальнейшем для его качественной оценки это время принято равным 5 мс.

Условия срабатывания защиты описываются следующим образом:

$$I_{сз} = \begin{cases} I_{сз0}, & \text{если } I_T < I_{изл1}; \\ k_1 \cdot I_T, & \text{если } I_{изл1} \leq I_T < I_{изл2}; \\ k_2 (I_T - I_{б2}), & \text{если } I_T \geq I_{изл2}. \end{cases}$$

Устройство 7UM62 имеет индикатор насыщения, который фиксирует момент насыщения ТТ и запускает механизм дополнительного торможения [1]. В случае обнаружения детектором внешнего КЗ защита блокируется на выбранное время. Блокировка снимается после того, как рабочая точка будет находиться внутри зоны действия более двух периодов [1]. Время блокировки должно быть не больше длительности возможных насыщений ТТ апериодической составляющей, и для моделирования, по причине отсутствия информации в [1], оно принято 0,6 с.

**Защита фирмы НПП «ЭКРА».** В алгоритмах ДЗ шкафов ШЭ1110-ШЭ1113 используется принцип направленного торможения [2]:

$$I_T = \begin{cases} \sqrt{I_1 \cdot I_2} \cdot \cos \alpha, & \text{если } \cos \alpha > 0 \text{ (сквозное КЗ);} \\ 0, & \text{если } \cos \alpha \leq 0 \text{ (внутреннее КЗ).} \end{cases}$$

где

$$\alpha = \arccos [i_1 \cdot (-i_2)].$$

Для повышения эффективности функционирования в алгоритме ДЗГ реализована отстройка от апериодических составляющих тока небаланса, но документация завода-изготовителя не содержит никакой информации о способе отстройки от однополярных дифференциальных токов. Поэтому при моделировании этого принципа принято, что дифференциальный ток является однополярным, если на протяжении периода времени от  $t_i - 20$  мс до  $t_i$  он не меняет знак на противоположный, где  $t_i$  - время считывания текущей выборки.

**Защита фирмы Areva.** Согласно документации производителя [3] дифференциальная защита в составе комплекта защит Micom P342, P343 использует принцип торможения суммой модулей токов плеч.

Условия срабатывания защиты описываются следующей системой:

$$\begin{cases} I_d \geq k_1 I_T + I_{s1}, & \text{если } I_T < I_{s2}; \\ I_d \geq k_2 I_T - (k_2 - k_1) I_{s2} + I_{s1}, & \text{если } I_T \geq I_{s2}. \end{cases}$$

Для обеспечения несрабатывания ДЗГ в режиме внешнего КЗ принимаются дополнительные меры. Во-первых, используется удерживание максимального значения тормозного сигнала на определённое время для поддержания достаточного уровня торможения до устранения внешнего КЗ. Во-вторых, в пофазной ДЗГ для торможения используется максимальное значение тормозного тока, рассчитанное для всех трёх фаз [4]. Несмотря на то, что информация о времени поддержания торможения на заданном уровне в документации отсутствует, его значение должно быть не больше времени переходного процесса в цепях ТТ и должно учитываться при моделировании. Однако такая выдержка времени может приводить к задержкам в срабатывании при переходе внешнего КЗ во внутреннее, поэтому использование данной меры крайне негативно будет сказываться на быстродействии устройства. При создании математической модели рассматриваемой ДЗГ это время принято равным 0,2 с.

**Алгоритм защиты фирмы Schneider Electric.** Согласно документации производителя [5] тормозной сигнал дифференциальной защиты в составе терминала защит Sepam 80 определяется по основным гармоникам токов плеч

$$I_T = |i_1 - i_2|,$$

а условия срабатывания защиты описываются следующим образом:

$$\begin{cases} I_d^2 - \frac{I_T^2}{32} > I_s^2, & I_T \leq \sqrt{2}; \\ I_d^2 - \frac{I_T^2}{32} > \left(\frac{1}{20}\right)^2, & I_T > \sqrt{2}, \end{cases}$$

где  $I_s$  – начальный ток срабатывания защиты (единственная регулируемая уставка).

Для повышения эффективности функционирования в алгоритме ДЗГ реализован блок выявления внешнего КЗ. Принцип действия этого блока заключается в следующем: при внешнем КЗ сквозной ток значительно превышает  $1,5 I_{ном}$ , и пока ТТ ненасыщен, дифферен-



циальный ток ДЗГ незначителен. В алгоритме защиты такое состояние выявляется по следующему условию [5]

$$\frac{I_D^2}{2} - \frac{I_T^2}{32} < -\left(\frac{I_{ном}}{4}\right)^2.$$

Для обеспечения устойчивости алгоритма ДЗГ при выявлении внешнего КЗ вводится задержка срабатывания 200 мс. Однако данная блокировка не распространяется на действие дифференциальной отсечки (ДО).

**Имитация функционирования ДЗ при внешних КЗ.** Для оценки эффективности используемых мер отстройки от токов небаланса, а также алгоритмов функционирования исследуемых защит в целом, используем программный комплекс имитационного моделирования переходных процессов в цепях ТТ [6]. Следует отметить, что объектом испытаний являются математические модели алгоритмов ДЗГ, поэтому анализ носит качественный характер, так как не учитывает тех свойств алгоритмов, которые не отражены в документации.

Анализ устойчивости функционирования рассматриваемых ДЗГ проведен при внешнем трехфазном КЗ кратностью  $3,3I_{ном}$ , где в качестве защищаемого объекта принят генератор ТВВ-320-2. Поведение защит рассматривалось при таких сочетаниях остаточных индукций сердечников ТТ, при которых токи небаланса принимают наибольшие значения.

Отметим, что уставки исследуемых защит выбраны в соответствии с особенностями защищаемого объекта и рекомендациями изготовителей.

Рассмотрим результаты моделирования. На рисунке 1 показаны первичные и вторичные токи плеч, приведенные ко вторичной стороне ТТ, и результирующий дифференциальный ток в фазе «А». На рисунке 2 показаны осциллограммы выходных сигналов моделей ДЗГ производства Schneider Electric (1), ЭКРА (2) и Siemens (3).

Из приведенных осциллограмм видно, что уже в первом периоде КЗ происходит насыщение ТТ со стороны нулевых выводов. Именно в этот промежуток времени происходит резкое увеличение тока небаланса и переход рабочей точки в область срабатывания. В таком режиме все защиты, кроме Micom P342, выдали сигнал на отключение.

Несмотря на ярко выраженную однополярность дифференциального тока, её достоверное распознавание в момент срабатывания защит невозможно, поэтому блокирование модели ДЗГ ШЭ1111 по этому признаку произошло лишь спустя 4 мс после срабатывания.

Несрабатывание модели ДЗГ Micom P342 при рассматриваемом внешнем КЗ свидетельствует о достаточной отстроенности от такого режима, однако использование дополнительных мер поддержания торможения в алгоритме ДЗГ вызывают определенную настороженность. В частности, запоминание максимального тормозного сигнала на время КЗ может привести к значительным задержкам в срабатывании при переходе внешнего КЗ во внутреннее, а использование максимального торможения выбранного по всем трём фазам может

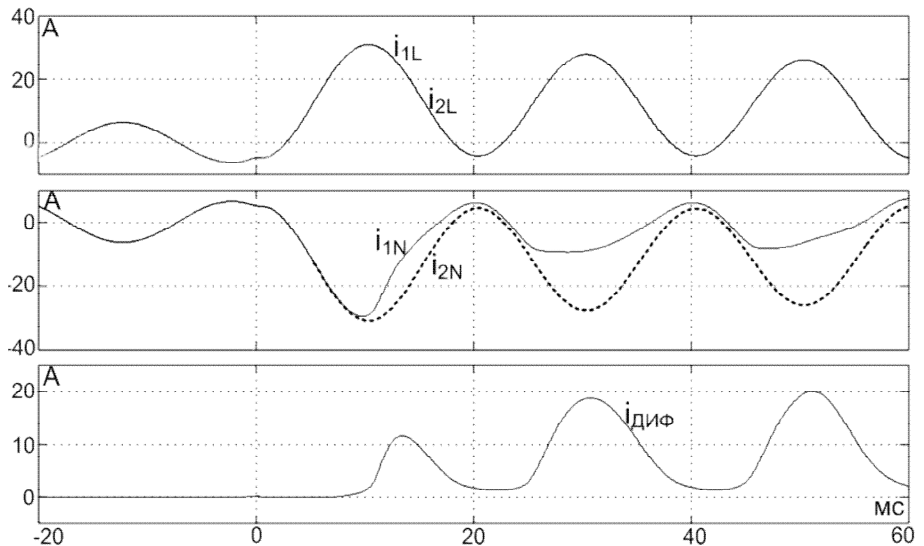


Рисунок 1 – Осциллограммы первичных, вторичных и дифференциального токов

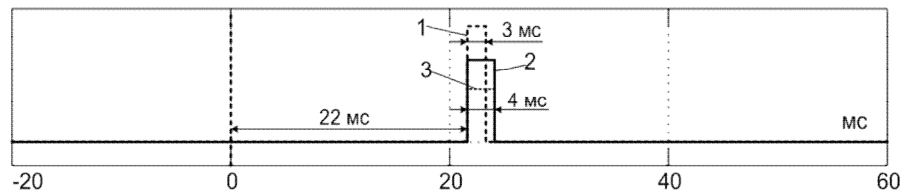


Рисунок 2 – Осциллограммы выходных сигналов моделей ДЗГ

привести к отказу в срабатывании при внутреннем повреждении, сопровождающимся значительным сквозным током.

Стоит отметить, что, несмотря на незначительное время нахождения моделей ДЗГ в сработанном состоянии, используемый в схемах защиты подхват сигнала может привести ложному отключению генератора.

Окончательное решение по выбору устанавливаемого устройства защиты может быть получено в результате дальнейшего исследования составленных моделей при всём разнообразии возможных режимов, а также путем оценки их чувствительности и быстродействия при внутренних повреждениях, сопровождающимися сквозными токами.

**Выводы:**

Использование в алгоритмах дифференциальных защит дополнительных мер, повышающих их селективность, в некоторых случаях приводит к ухудшению чувствительности и быстродействия устройств при внутренних повреждениях.

Предложенный метод исследования ДЗГ, позволяет сопоставлять устройства различных производителей по эффективности обеспечения устойчивости функционирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 SIEMENS SIPROTEC. Многофункциональное устройство защиты электрических машин 7UM62, версия 4.6: руководство по эксплуатации. -2008.
- 2 Цифровые защиты генераторов, трансформаторов и блоков генератор-трансформатор электростанций ЭКРА.656116.166 ТО (версия 4.10).
- 3 Техническое описание реле MICOM P342, P343. Защита генераторов. Т.1. TG8614A.
- 4 Косых, Д.А. Сравнение технических характеристик современных продольных дифференциальных токовых защит генераторов / Д.А. Косых // Энергетик. -2009. -№12. -С. 23–25.
- 5 Sepam series 80. Protection, metering and control functions. User's manual 03.
- 6 Глазырин, В.Е. Моделирование переходных процессов в цепях дифференциальной защиты генератора / В.Е. Глазырин, А.А. Осинцев // Электро. -2011. -№3. -С. 9-13.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** дифференциальная защита, торможение, устойчивость несрабатывания  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Глазырин Владимир Евлампиевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
Осинцев Анатолий Анатольевич, аспирант ФГБОУ ВПО «НГТУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДИАФРАГМЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА ДЛЯ СИСТЕМ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ТЭС**

**ФГБОУ ВПО «Забайкальский государственный университет»**

**В.В. Петин, А.Г. Батухин**

**OPTIMIZATION OF DIAPHRAGM ELECTRICAL DISCHARGE CHARACTERISTICS FOR HPS WATER CONSUMPTION SYSTEMS**  
**«Zabaikalsky state university»**  
V.V. Petin, A.G. Batuhtin

The results of experimental research on diaphragm electrical discharge installation were described. Graphical dependences were designed and optimization of HPS water consumption system characteristics was made.

**Keywords:** system of centralized heat supply, hydraulic sluicing system, water, diaphragm of electric discharge

Описаны результаты экспериментальных исследований на установках диафрагменного электрического разряда. Построены графические зависимости и проведена оптимизация характеристик систем водопользования ТЭС.

В Забайкальском крае основными водопользователями являются предприятия электроэнергетики, цветной металлургии и жилищно-коммунального хозяйства. Доля от всего объема забранной воды предприятиями электроэнергетики составляет 49,9%, цветной металлургии – 14,3%, ЖКХ – 14,8% [1].

В 2009 году на территории Забайкальского края эксплуатировалось 316 источников централизованного водоснабжения, из них с водозабором из открытых водоемов 10, остальные – из подземных источников [1]. Одной из приоритетных причин загрязнения питьевой воды систем централизованного водоснабжения, является загрязнение питьевой воды в процессе водоподготовки хлором и его соединениями. Поэтому замена хлорирования другими способами весьма актуальна.

В настоящее время к наиболее перспективным методам обеззараживания питьевой и сточных вод, которые могут обеспечить эффект последствия относят обработку воды диафрагменным электрическим разрядом, которая позволяет получить высокий обеззараживающий эффект с улучшением органолептических свойств воды [2].

С целью определения оптимальных характеристик диафрагменного электрического разряда провели группу экспериментов. На экспериментальной установке, описанной в [3] выставлялся определенный расход, далее с помощью электрического нагревателя моделировалась различная температура перед камерой. Для осветленной воды выбирался рабочий диапазон от 5 до 25 °С, для сетевой от 40 до 70 °С. При каждой начальной температуре и установленному расходу жидкости через камеру определялась электрическая мощность посредством ампер и вольтметров. Мощность определялась устойчивым горением электрического разряда. При чем при каждом значении начальной температуры проводилось не менее трех измерений ампер и вольтметров.

При каждом значении начальной температуры сетевой и осветленной воды, с учетом максимального выхода перекиси водорода и ионов меди устанавливались диафрагмы с диаметрами отверстий.

Первый расход через камеру установлен и равен 0,15 л/мин. Данный расход, как выяснилось, оказался очень маленьким и при проведении эксперимента в камере образовывалось вскипание воды из-за недостатка охлаждения. Поэтому при построении графика он не учитывался.

Для исследований выбирался расход: 0,35; 0,50; 0,95; 1,2 л/мин. Последний расход является максимальным через данную установку.

Конечная (после разрядной камеры) температура во всех экспериментах поддерживалась на уровне 65-75 °С.

Ниже построены (рисунок 1 и 2) зависимости электрической мощности от температуры перед разрядной камерой.

При расходах 0,95 и 1,2 л/мин наблюдалось смещение зоны горения разряда в сторону сливного отверстия, объясняемое большими скоростями движения воды это 0,56 и 0,71 м/с, при этом горение разряда не прекращалось. Это объясняется переходом разряда от квазиимпульсного к аperiодическому режиму, что, при высокой скорости движения жидкости, происходит из-за смыва из отверстия образующихся газовых пузырьков и ионов до образования разряда. Что в свою очередь приводит к нестабильному горению разряда по каждому отверстию диафрагмы [4, 5].

Другое представление обобщенных данных этого эксперимента приведено на рисунке 3 и 4 в виде зависимости мощности от расхода жидкости при различной начальной температуре.

Графические зависимости, изображенные на рисунке 3 и 4 показывают, что электриче-

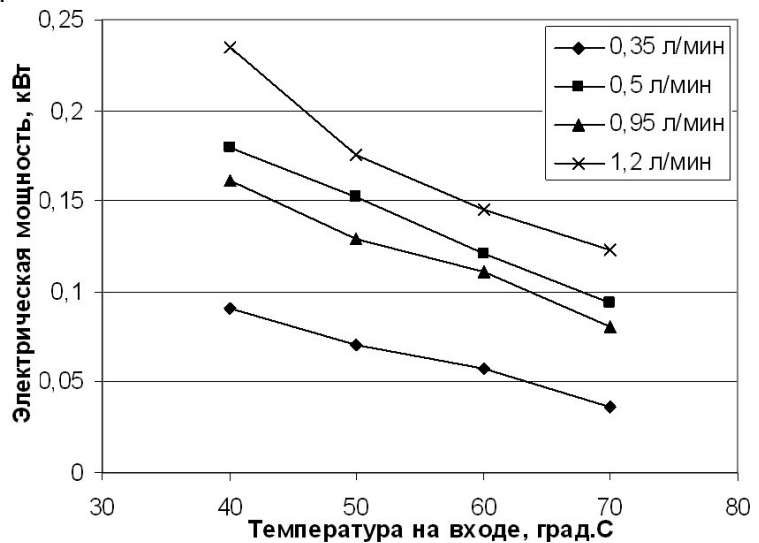


Рисунок 1 – Влияние мощности от начальной температуры сетевой воды

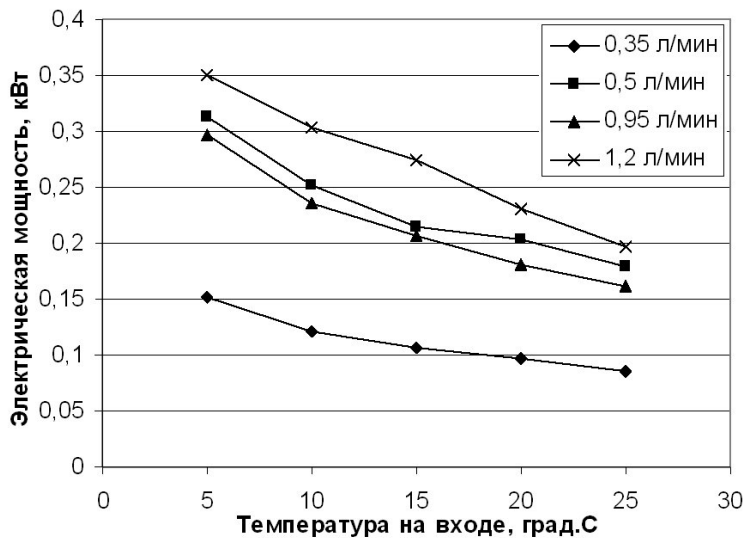


Рисунок 2 – Влияние мощности от начальной температуры осветленной воды

ская мощность увеличивается с увеличением расхода, однако на участке от 0,5 до 0,95 л/мин наблюдается некоторое снижение. Это происходит вследствие не установившегося гидравлического режима, который характеризуется числом Рейнольдса. Так, например, число Рейнольдса при температуре 25 °С и расходе 0,5 л/мин (скорость 0,29 м/с) составляет 1980, а уже при расходе 0,95 л/мин (скорость 0,56 м/с) 3760 при этой же температуре. И чем более высокая начальная температура, тем меньшая электрическая мощность затрачивается.

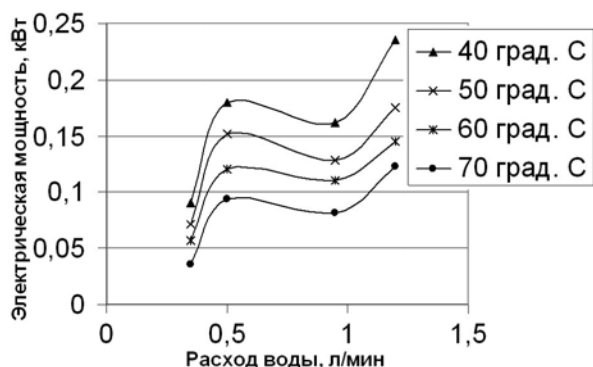


Рисунок 3 – Влияние мощности от расхода жидкости сетевой воды

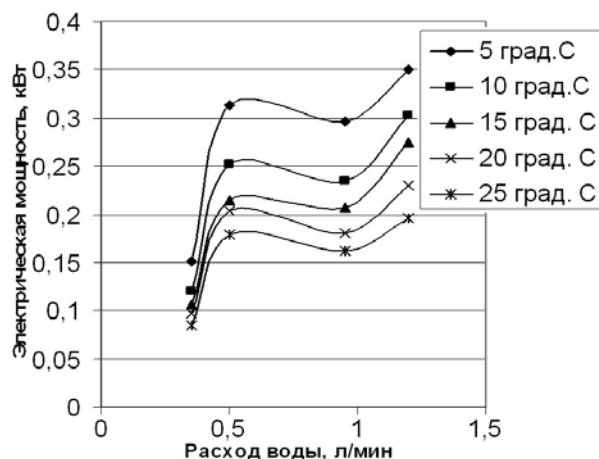


Рисунок 4 – Влияние мощности от расхода жидкости осветленной воды

Для сравнения характеристик данной экспериментальной установки с другими определяется удельная энергоёмкость на кубический метр воды. Удельная энергоёмкость определяется как отношение электрической мощности к расходу. Размерности электрической мощности – кВт, расхода жидкости – м<sup>3</sup>/ч. На рисунках 5 и 6 построены зависимости энергоёмкости от начальной температуры перед камерой при различных расходах сетевой и осветленной воды.

Наличие графической зависимости с расходом 0,021 м<sup>3</sup>/ч между расходными характеристиками 0,03 и 0,057 м<sup>3</sup>/ч говорит о тех же переходных гидравлических режимах, описанных выше по числу Рейнольдса.

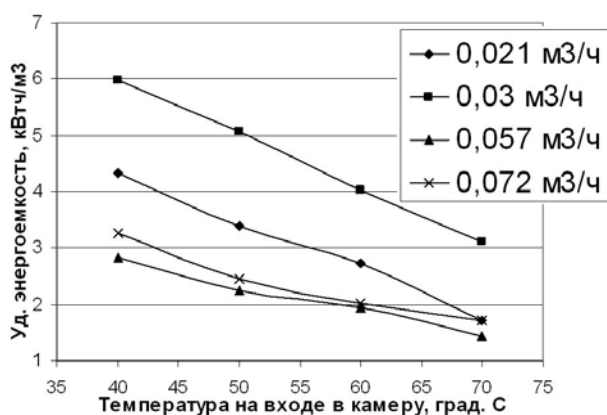


Рисунок 5 – Энергоёмкость установки по обеззараживанию сетевой воды

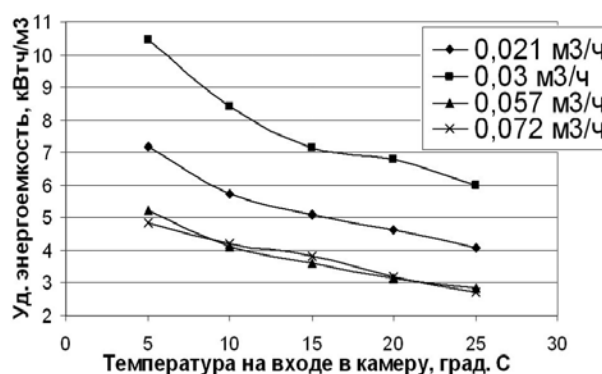


Рисунок 6 – Энергоёмкость установки по обеззараживанию осветленной воды

Характерной особенностью обоих графиков удельной энергоёмкости от температуры является практически одинаковая энергоёмкость при расходах 0,057 и 0,072 м<sup>3</sup>/ч что для осветленной что для сетевой воды. Данный факт говорит о том, что работа установки в данном диапазоне расходов будет иметь наименьшие затраты по электроэнергии, а учитывая что вышеприведенные экспериментальные исследования проведены при максимальной обеззараживающей способности.

Таким образом, эксплуатация установки с расходами от 0,057 до 0,072 м<sup>3</sup>/ч имеет минимальную энергоёмкость в пределах 2,7-5,1 кВт·ч/м<sup>3</sup> для осветленной воды и 0,5-3 кВт·ч/м<sup>3</sup> для сетевой воды, которая снижается при повышении начальной температуры.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды в Забайкальском крае за 2008-2009 годы / Мин-во природ. ресурсов и экологии Забайкал. края, Забайкал. гос. гуманитарно-пед. ун-т им. Н.Г. Чернышевского.
- 2 Батухтин, А.Г. Обеззараживание воды в системах централизованного теплоснабжения / А.Г. Батухтин, В.В. Петин, И.Ф. Суворов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№1. -С. 209-212.
- 3 Современные технологии использования электрической энергии в системах централизованного теплоснабжения / В.В. Петин, А.Г. Батухтин, А.В. Калугин, П.Г. Сафронов // Науч.-техн. ведомости С.-Петербур. ГТУ. -СПб., 2010. -№4. -С. 32-38.
- 4 Sato, M. Formation of Chemical Species and Their Effects on Microorganisms Using a Pulsed High-Voltage Discharge in Water / M. Sato, T. Ohgiyama, J. S. Clements // IEEE Trans. on Industry Appl. -1996. -Vol. 32, №1. -P. 106-112.
- 5 High-Efficiency Sterilizer by High-Voltage Pulse Using Concentrated-Field Electrode System / M. Sato, M. Ishida, A.T. Sugiarto, T. Ohshima, H. Taniguchi // IEEE Trans. on Industry Appl. -2001. -Vol. 37.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *система централизованного теплоснабжения, система гидрозолеудаления, вода, диэлектрический разряд*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Петин Владимир Владимирович, специалист ФГБОУ ВПО «ЗабГУ»  
Батухтин Андрей Геннадьевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ЗабГУ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *672039, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, 30, ФГБОУ ВПО «ЗабГУ»*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ**

**ФГБОУ ВПО «Забайкальский государственный университет»**

**М.С. Басс, Е.Г. Поликанова, С.Г. Батухтин**

### **PROSPECTS OF NONCONVENTIONAL ENERGY USAGE IN ENERGY SUPPLY SYSTEMS OF ZABAİKALSKI KRAI**

**«Zabaikalsky state university»**

**M.S. Bass, E.G. Polikanova, S.G. Batuhtin**

In the article the possibility of nonconventional sources of energy application in energy supply systems of Zabaikalski krai conditions is considered. The conclusion about practicality of solar energy application as a source of energy.

*Keywords: nonconventional power engineering, helioheating installation, power supply system, solar energy*

Рассмотрены возможности применения в системах энергоснабжения нетрадиционных источников энергии для условий Забайкальского края. Делается вывод о целесообразности применения энергии солнца в качестве источника энергии.

Возобновляемые источники энергии – это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих процессов в природе, а также жизненном цикле растительного и животного мира и жизнедеятельности человеческого общества [1].

**Геотермальная энергия.** Геотермальные источники в Забайкальском крае расположены в Каларском районе, их энергетический потенциал слабо изучен. Данный район слабо заселен и перспективы использования в качестве источника тепло и электроснабжения геотермальной энергии требует детальной технико-экономической проработки.

**Приливная энергия.** Отсутствие в Забайкальском крае морского или океанического побережья представляет невозможным использование этого вида энергии.

**Энергия биомассы.** Использование энергии биомассы представляется перспективным направлением развития в области нетрадиционной энергетики Забайкальского края, особенно газификация древесных отходов. Основная проблема высокая влажность исходного материала, что требует дополнительных затрат энергии на сушку и подготовку первичного вещества. Технико-экономический эффект следует определять исходя из этого фактора. Кроме того, наибольшего эффекта данная технология может быть достигнута на крупных лесоперерабатывающих производствах. Для оценки всех возможных факторов необходим пилотный проект, на примере которого удастся на практике оценить все достоинства и недостатки данной технологии.

Что касается технологии получения биогаза, КНР является одним из мировых лидеров и сотрудничество Забайкальского края, как приграничной территории, в этой области является очень перспективным. Основным фактором получения значительного технико-экономического эффекта является наличие крупных агропромышленных комплексов со значительными величинами органических отходов.

**Энергия воды (мини-ГЭС).** Основными ограничивающими факторами широкого внедрения данных источников энергии в Забайкальском крае является продолжительность зим-

него периода и обеспечение сохранности данного оборудования. Из-за того, что практически полгода в регионе реки скованы льдом, число часов использования оборудования будет низким. Также в период наибольшего потребления электроэнергии данное оборудование не будет работать, что приведет к большим срокам окупаемости. Кроме того, будет необходим дополнительный источник энергии на время простоя данного оборудования.

Наиболее рациональным будет использовать такой вид энергии в производстве с сезонным характером работ, например в золотодобывающих артелях.

**Ветровая энергия.** При выборе того или иного типа ветрогенератора необходимо учитывать метеорологические условия и рельеф местности. В Забайкальском крае из-за сильно пересеченного рельефа и наличия оз. Байкал хорошо развиты местные ветры. Так, в горах и на побережье Байкала наблюдаются фены, которые в зимнее время вызывают оттепели и сход снежного покрова, а в летнее – повышение температуры и уменьшение влажности. В теплый период развиты местные горно-долинные ветры. Для территории, примыкающей к озеру Байкал, характерны местные ветры, дующие летом и весной с озера на сушу, а зимой в противоположном направлении.

Традиционные ветроустановки начинают работать при скорости ветра выше 3 м/с, выходя на номинальные показатели при скоростях 10-16 м/с (рисунок). Средняя скорость ветра в Забайкальском крае в последние годы составляет 1,7 м/с при средней максимальной 5,3 м/с, что не позволяет работать данным ветроустановкам в течение всего года с нормальными показателями.

Значительным недостатком автономных ветроустановок является наличие в схеме аккумуляторных батарей, имеющих ресурс работы 3-5 лет. Стоимость же их составляет от 30 до 50% от всей стоимости ветроустановки, что приводит к значительному удорожанию данного вида источника возобновляемой энергии.

Удельная стоимость крупных ВЭУ сегодня лежит в интервале 800-1000 \$/кВт, а малых ВЭУ, как правило, выше и увеличивается с уменьшением мощности, достигая величины 3000 \$/кВт (иногда и выше) для установок мощностью от нескольких сот ватт до одного киловатта. При этом стоимость небольших установок в Китае составляет примерно 1500 \$/кВт, то есть в два раза дешевле.

**Солнечная энергия.** Основными способами использования солнечной энергии являются преобразование ее в электрическую и тепловую.

Наиболее эффективным способом использования энергии солнца сегодня является гелионагрев воды с применением солнечных коллекторов различного типа. Отсутствие широкого применения данной технологии в России связано с заблуждением, что возможность сбора солнечной энергии связана непосредственно с температурой окружающего воздуха. На самом деле мощность солнечных коллекторов зависит только от интенсивности солнечного излучения, прозрачности воздуха и продолжительности светового дня [2]. Данное положение дает предпосылку для использования солнечных коллекторов в Забайкальском крае, обладающем значительным количеством безоблачных дней и одной из максимальных величин солнечной активности в России.

Солнечная активность в Забайкальском крае (ЗК) в максимальный месяц не намного выше чем, к примеру, в Краснодаре, а величина суммарного солнечного излучения значительно выше [2]. Это обусловлено тем, что величина солнечной активности ЗК существенно выше, чем в других регионах в зимние месяцы. Данный факт наряду с наибольшей суммарной за год величиной солнечной активности дает значительную предпосылку к использованию гелионагрева в системах отопления.

Величина осадков в ЗК значительно ниже среднероссийских показателей. Особенно это характерно для зимних месяцев. Малоснежные зимы (а также очень низкая величина годовой нормы осадков) позволят минимизировать эксплуатационные затраты при функционировании систем гелионагрева в зимние месяцы и значительно повысят их эффективность по

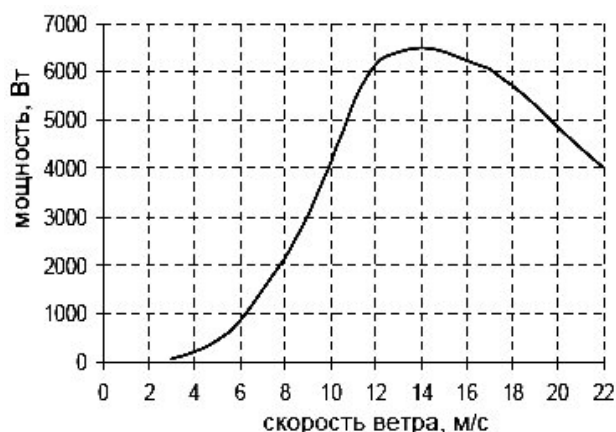


Рисунок – График мощности ветрогенератора (5 кВт) с горизонтальной осью

сравнению с другими солнечными регионами России.

Применение солнечных коллекторов в системах отопления и горячего водоснабжения в Забайкальском крае сопряжено с рядом трудностей. Основной из них является очень низкая температура наружного воздуха в зимний период (расчетная температура наружного воздуха для систем отопления и вентиляции  $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а среднеотопительная  $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

В настоящее время разработано значительное количество различных схем использования энергии солнца в системах ГВС и водяного отопления. Отопление помещений теплым воздухом на основе источников теплоты различных типов позволяет во многих случаях значительно уменьшить капитальные затраты и эксплуатационные расходы. Применение гелионагрева с использованием солнечных коллекторов различного типа в системах воздушного отопления позволит значительно повысить эффективность таких систем, а также увеличит степень замещения традиционных источников теплоты. В таких системах нагревается, в зависимости от температурного режима, вода или воздух, либо осуществляется совместный нагрев воды для нужд ГВС и воздух для отопления. Поскольку наша конечная задача – нагрев воздуха в помещении, то именно такие комплексы позволяют достичь максимальной эффективности, исключив все промежуточные процессы и преобразования [3].

Универсальность систем обуславливает широкую сферу их применения: от дома коттеджного типа до отопления гигантских промышленных помещений и тепличных комплексов.

Большинство преимуществ данной схемы возможно только при использовании в солнечных коллекторах незамерзающих жидкостей. Нагрев воздуха можно производить как в промежуточном теплообменнике от жидкости, нагретой в коллекторе, так и непосредственно в нем.

Произведенные технико-экономические расчеты использования солнечных коллекторов в системах отопления показали, что для условий Забайкальского края, срок окупаемости лежит в пределах 9-11 лет. Большее значение соответствует меньшей отопительной нагрузке здания.

Солнечные фотоэлектрические установки осуществляют прямое преобразование энергии солнечного излучения в электроэнергию с помощью фотопреобразователей.

Основной их недостаток это низкая выработка электроэнергии с площади фотоэлектрической панели. Поэтому чтобы получить значительное количество электроэнергии потребуются огромные площади.

**Выводы.** Забайкальский край является регионом с высокой солнечной активностью, продолжительность солнечного излучения составляет в среднем порядка 2300–2500 ч в год. Поэтому наиболее перспективным из нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в энергобалансе региона является использование солнечной энергии. Так как прямое преобразование солнечной энергии в электрическую посредством солнечных панелей имеет низкий энергетический потенциал, оптимальным является использование солнечных коллекторов в системах теплоснабжения, особенно для замещения нагрузки горячего водоснабжения.

Также перспективным является использование энергии биомассы, в том числе получение биогаза с использованием его непосредственно в энергобалансе сельскохозяйственных предприятий.

Применение остальных видов возобновляемых источников энергии в Забайкальском крае выглядит малопривлекательным.

Приграничное сотрудничество с Китаем в области внедрения нетрадиционных источников является очень выгодным, так как КНР является мировым лидером по внедрению и производству данного оборудования, стоимость установок ниже других аналогов в 1,5–2,5 раза при небольшой стоимости доставки его в Забайкальский край. Снижение капитальных затрат приводит к значительному снижению срока окупаемости – важнейшего фактора препятствующего широкому внедрению нетрадиционных источников энергии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Обзор применяемых в субъектах Российской Федерации возобновляемых источников энергии / Мин-во регион. развития Рос. Федерации, Департамент жилищ.-коммун. хоз-ва. -М., 2007.

2 Батухтин, А.Г. Современные методы повышения эффективности совместной работы установок гелиоотопления и систем централизованного теплоснабжения / А.Г. Батухтин, С.Г. Батухтин // Науч.-техн. ведомости С.-Петерб. ГТУ. -СПб., 2009. - №3. -С. 48-53.

3 Комбинированное применение солнечных коллекторов в системах воздушного отопления. Проблемы безопасности жизнедеятельности Забайкальского края / С.Ф. Мирошников, М.С. Басс, С.А. Требуных, С.Г. Батухтин // Вестн. МАНЭБ. -СПб.; Чита, 2009. -Т. 14, №3.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** нетрадиционная энергетика, установка гелиоотопления, система энергоснабжения, энергия солнца  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Басс Максим Станиславович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ЗабГУ»  
 Поликанова Елена Геннадьевна, старший преподаватель ФГБОУ ВПО «ЗабГУ»  
 Батухтин Сергей Геннадьевич, специалист ФГБОУ ВПО «ЗабГУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 672039, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, 30, ФГБОУ ВПО «ЗабГУ»

## КОНЦЕПЦИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ УЗЛОВ НАГРУЗКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6-35 кВ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.А. Дзюба

THE CONCEPT OF MAINTENANCE OF STABILITY OF KNOTS OF LOADING IN ELECTRIC NETWORKS 6-35 kV  
 «Novosibirsk state academy of water transport»  
 P.A. Dzuba

The concept of maintenance of stability of knots loading by suppression conduction an electromagnetic hindrance on the established deviation of pressure is stated.

Keywords: factor of a stock of stability on pressure, loading knot, conduction electromagnetic hindrances, a regulator

Изложена концепция обеспечения устойчивости узлов нагрузки путём подавления кондуктивной электромагнитной помехи по установившемуся отклонению напряжения.

Критическое значение напряжения в узлах нагрузки (УН) определяет запас устойчивости, который определяется коэффициентом запаса по напряжению [1]

$$K_{(U)} = \frac{U - U_{кр}}{U}, \quad (1)$$

где  $U$  – напряжение в узле нагрузки, кВ;

$U_{кр}$  – критическое напряжение, соответствующее границе устойчивости асинхронных двигателей.

Критическое напряжение в узлах нагрузки 110 кВ и выше рекомендуется принимать равным  $(0,7-0,75)U_H$ , где  $U_H$  – напряжение в сети при нормальном режиме [1, 2]. Показатели устойчивости электроэнергетической системы (ЭЭС) по коэффициенту запаса по напряжению нормируются.

Однако, действующие директивные документы [2] не нормируют запас устойчивости УН по напряжению в сетях от 6 до 35 кВ. В связи с этим необходимо обеспечивать устойчивость УН по напряжению в сетях от 6 до 35 кВ, удовлетворяющую требованиям эксплуатации. Концепция такого обеспечения в статье излагается на основании исследования электромагнитной обстановки (ЭМО) в замкнутой сети 10 кВ Ямбургского месторождения газа [3].

Устойчивость УН по напряжению исследовалась с помощью критерия  $dE_3/dU$ ,

где  $E_3$  – ЭДС эквивалентного генератора схемы замещения системы электроснабжения, о.е. График функции  $E_3 = f(U/U_H)$  приведён на рисунке 1 (кривая 1). Методом выравнивания

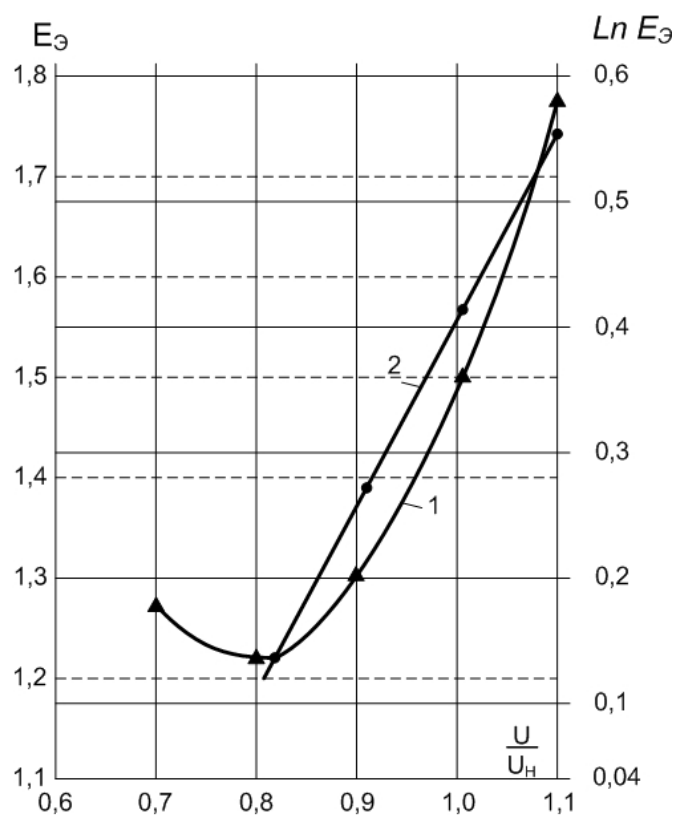


Рисунок 1 – Графики функций  $E_3 = f(U/U_H)$

(кривая 1),  $\ln E_3 = \ln[f(U/U_H)]$  (кривая 2)



(прямая 2), доказана пригодность применения, а способом средних определены коэффициенты следующей эмпирической математической модели

$$E_s = 0,5 \left( \frac{U}{U_H} \right)^2 + 1. \quad (2)$$

Напряжение в сети обуславливается кондуктивной электромагнитной помехой (ЭМП) по установившемуся отклонению напряжения ( $\delta U_n$ ) за расчётный период (24 ч), имеющий стохастический характер. Методика расчёта  $\delta U_n$  приведена в [4].

Ограничивая изменения напряжения пределами

$$U_H - M[\delta U_n] < U < U_H + M[\delta U_n], \quad (3)$$

получаем эмпирическую математическую модель функции  $E_s = f(\delta U_n)$

$$E_s = (M_*[\delta U_n])^2 \pm [M_*[\delta U_n]] + 1,5, \quad (4)$$

где  $M_*[\delta U_n]$  – математическое ожидание кондуктивной ЭМП, о.е.

Область применения математических моделей (2) и (4) представляется неравенством  $0,8 < (U/U_H) \leq 1,1$ . Относительные ошибки расчётов с вероятностью 0,95 не превышают  $\pm 10\%$ .

Исследовалось влияние кондуктивной ЭМП  $\delta U_n$  на коэффициент запаса устойчивости УН по напряжению. Методом математического моделирования получены следующие эмпирические математические модели зависимости коэффициента запаса устойчивости  $K_{(U)}$  от вида математического ожидания  $M[\delta U_n]$  за расчётный период. При  $M[\delta U_n] < 0$  рекомендуется к применению модель

$$K_{(U),1} = 0,19 + 0,86M[\delta U_n], \quad (5)$$

а при  $M[\delta U_n] > 0$  соответственно

$$K_{(U),2} = 0,19 + 0,76M[\delta U_n]. \quad (6)$$

Область применения этих моделей ограничивается неравенством  $0,8 < (U/U_H) \leq 1,1$ . Относительные ошибки расчётов с вероятностью 0,95 не превышают  $\pm 4\%$ .

Обеспечить устойчивость УН путём подавления кондуктивной ЭМП по установившемуся отклонению напряжения в соответствии с формулами (5) и (6) можно регулированием напряжения в центре питания (ЦП). Силовые понижающие трансформаторы главных понижительных подстанций северных регионов имеют специальные переключающие устройства, позволяющие изменять коэффициент трансформации без снятия нагрузки с трансформатора (РПН). Обусловлено это требованиями [2, 5, 6]: на понижительных подстанциях с вторичным напряжением от 6 до 20 кВ, на которых должны устанавливаться трансформаторы с РПН; процесс регулирования должен быть автоматизирован (таблица).

*Таблица – Диапазоны регулирования силовых трансформаторов с РПН на стороне высокого напряжения*

Номинальное напряжение, кВ	Номинальная мощность, МВ·А	Диапазон регулирования, %	Степень регулирования, %	Число ступеней
35	6,3	$\pm 9$	1,5	$\pm 6 \times 1,5$
110	10-40	$\pm 16,02$	1,78	$\pm 9 \times 1,78$
220	16-80	$\pm 12$	1,5	$\pm 8 \times 1,5$

Разработан алгоритм расчёта уставки регулятора напряжения, который излагается применительно к сети 10 кВ полигона исследования.

Выбирается, учитывая спокойный суточный график полной мощности УН, режим стабилизации напряжения (закон регулирования напряжения) в центре питания

$$U = U_H (1 \pm \Delta U_p). \quad (7)$$

Уставка регулятора определяется по формуле

$$|\Delta U_p| > |\Delta U|, \quad (8)$$

где  $\Delta U$  – величина, на которую необходимо изменить математическое ожидание напряжения в сети  $M[\delta U_y]$ , чтобы  $M[\delta U_n] = 0$ .

Для определения  $\Delta U$  необходимо располагать данными о параметрах и законе распре-

деления случайной величины  $\delta U_n$  за расчётный период. Для исследуемой сети 10 кВ плотность вероятностей нормального распределения кондуктивной ЭМП  $\delta U_n$  представляется формулой (1/%)

$$\varphi(\delta U_y = \delta U_n; -1,53; 3,4) = 0,12 \exp \left[ -\frac{(\delta U_y + 1,53)^2}{23} \right], \quad (9)$$

Строится график плотности вероятности распределения кондуктивной ЭМП  $\delta U_n$  и совмещается с нормально и предельно допустимыми уровнями ЭМС ( $\pm \delta U_{y,n}; \pm \delta U_{y,\Pi}$ ) (рисунок 2, кривая 1). Затем, на основании свойств дисперсии, размещают этот график с таким расчётом, чтобы вероятность появления  $\delta U_y$  в интервале (5, 10) не превышала установленного значения 0,05 (кривая 2). Определяется математическое ожидание  $M[\delta U_y]$ . Вычисляется величина

$$\Delta U = \pm M[\delta U_y] \mp M[\delta U_n]. \quad (10)$$

На рисунке 3 показана блок-схема автоматического регулятора напряжения (АРН), обеспечивающего режим стабилизации напряжения в узле нагрузки.

Таким образом, изложенная концепция обеспечения устойчивости УН по напряжению в сетях от 6 до 35 кВ базируется на глубоком изучении ЭМО и реализуется нормированными средствами регулирования напряжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Долгов, А.П. Устойчивость электрических систем: учеб. пособие / А.П. Долгов. -Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. -176 с.
- 2 Методические указания по устойчивости энергосистем. Утверждены приказом минэнерго РФ № 277 от 30.06.2003 г.
- 3 Сальников, В.Г. Выбор базового объекта исследования электромагнитной совместимости в замкнутых сетях от 6 до 35 кВ северных месторождений газа / В.Г. Сальников [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2009. -№2. -С. 209-213.
- 4 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в сетях транспортных систем (теория, расчёт, подавление) / Е.В. Иванова // Трансп. дело России. -2006. -№8. -С. 16-20.
- 5 Правила устройства электроустановок. -М.: Изд-во «ДЕАН», 2001. -928 с.
- 6 Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. -Екатеринбург: УЮИ, 2003. -304 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** коэффициент запаса устойчивости по напряжению, узел нагрузки, кондуктивная электромагнитная помеха, регулятор

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Дзюба Павел Анатольевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГавт»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГавт»

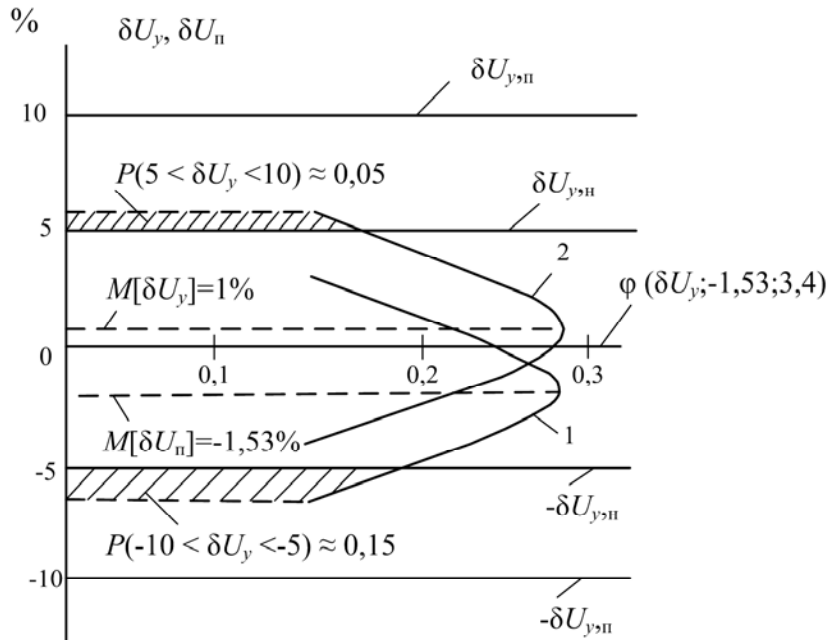


Рисунок 2 – График нормальной плотности вероятности распределения случайной величины  $\delta U_n$  (1) совмещённый с нормируемыми уровнями ЭМС и такой же график случайной величины  $\delta U_y$  (2), при котором обеспечивается подавление кондуктивной ЭМП

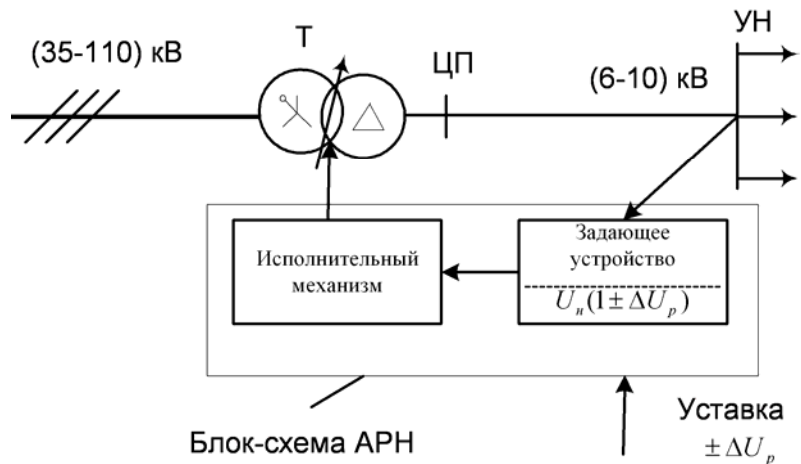


Рисунок 3 – Режим стабилизации напряжения в центре питания

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗНЫХ ЗАЩИТ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ГЕРКОНАХ

«Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова»

П.Н. Майшев

### THE PARAMETERS OF DIFFERENTIAL-PHASE PROTECTIONS FOR TRANSFORMERS ON HERMETIC CONTACTS IMPROVEMENTS

«Pavlodar state university named S. Toraygyrov»

P.N. Maishev

The methodology of calculating the coordinates of reed switches in which the error in their installation has a minimal effect on the value of the boundary angle phase comparison schemes. Given way to ignore the effect of voltage transformer under load at set point of the angle block.

Keywords: current, magnetic field, current converter, strength, electrical installation, current-conducting wire

Дана методика расчета координат герконов, при которых погрешность в их установке оказывает наименьшее влияние на величину граничного угла фазосравнивающих схем. Приведен способ, позволяющий не учитывать влияние регулирования напряжения трансформатора под нагрузкой на уставку угла блокировки.

Как показано в [1], в некоторых случаях граничный угол  $\varphi_{ГР}$  дифференциально-фазных защит трансформаторов на герконах из-за погрешностей установки герконов и влияния устройств регулирования под нагрузкой (РПН) оказывается настолько значительным, что ограничивает область ее применения. В данной работе предлагаются технические решения, позволяющие исключить указанный недостаток.

Расположение герконов. Вдоль продольной оси каждого геркона, установленного вблизи расположенных горизонтально токопроводов фаз защищаемого трансформатора, действует магнитное поле (МП) с напряженностью [2]

$$\dot{H}_{ГР} = (g_A \cdot i_A + g_B \cdot i_B + g_C \cdot i_C) / 2\pi; \quad (1)$$

$$g_A = \frac{h \cos \gamma + x \sin \gamma}{h^2 + x^2}; \quad g_B = \frac{h \cos \gamma - (d - x) \sin \gamma}{h^2 + (d - x)^2}; \quad g_C = \frac{h \cos \gamma - (2d - x) \sin \gamma}{h^2 + (2d - x)^2}, \quad (2)$$

где  $g_A, g_B, g_C$  – коэффициенты, полученные с помощью элементарной геометрии;

$h, x$  – расстояния между токопроводом и герконом в вертикальной и горизонтальной плоскостях;

$d$  – расстояние между токопроводами соседних фаз;

$\gamma$  – угол между продольной осью геркона и горизонталью.

Со стороны высшего напряжения (ВН) трансформаторов геркон Г1 (Г2, Г3) устанавливается так, чтобы на него действовало МП, созданное током фазы А (В, С). Для этого необходимо, чтобы

$$g_{В,Г1} = g_{С,Г1}; \quad g_{А,Г2} = g_{С,Г2}; \quad g_{А,Г3} = g_{В,Г3}. \quad (3)$$

Рассматривая (3) как уравнения относительно  $\gamma$ , легко находится зависимость  $\gamma = f(x)$  для каждого геркона ( $h$  принимается минимально допустимым по [3], а  $x$  от  $-d/2$  до  $d/2$  для Г1, от  $d/2$  до  $3d/2$  для Г2 и от  $3d/2$  до  $5d/2$  для Г3). Значение  $x$ , при котором погрешности в установке геркона, возникающие из-за неточностей его крепления и настройки, оказывают минимальное влияние на  $\varphi_{ГР}$  выбираются следующим образом. Например, для Г1 при  $x = -d/2$  находится угол  $\gamma$ . В формулы (2) вместо  $h, x, \gamma$  подставляются значения  $h \pm \Delta h, x \pm \Delta x, \gamma \pm \Delta \gamma$ , и при всех возможных сочетаниях погрешностей с помощью ЭВМ (в электроустановках до 10 кВ, где  $h = 0,2$  м и  $d = 0,22$  м [3], принимаем  $\Delta h = \Delta x = 5$  мм,  $\Delta \gamma = 50$ ) вычисляются коэффициенты  $g_{А,П}, g_{В,П}, g_{С,П}$  (это  $g_A, g_B, g_C$  с учетом погрешностей). Далее из [1] для момента срабатывания Г1, следует

$$H_{ГР} = K_{КЗ} \frac{g_{АП} I_{МА} \sin \varphi_B + g_{ВП} I_{МВ} \sin(\varphi_B - 120^\circ) + g_{СП} I_{МС} \sin(\varphi_B + 120^\circ)}{2\pi}, \quad (4)$$

где  $K_{КЗ}$  – минимальная кратность тока повреждения, при котором срабатывает геркон

$$K_{K3} = I_{K3} / I_H = 1,25.$$

При условии  $I_{mA} = I_{mB} = I_{mC} = I_m$ , с учетом (2) выражается угол  $\varphi_B$ :

$$\varphi_B = \arcsin \left( \frac{2k_1 k_3 \pm k_2 \sqrt{k_1^2 - 4k_3^2 + k_2^2}}{k_1^2 + k_2^2} \right), \quad (5)$$

где

$$k_1 = g_{AП} + g_{BП} \cos 120^\circ + g_{CП} \cos 120^\circ = g_{AП} - 0,5(g_{BП} + g_{CП});$$

$$k_2 = -g_{BП} \sin 120^\circ + g_{CП} \sin 120^\circ = 0,866(g_{CП} - g_{BП}); \quad k_3 = H_{ПР} \pi / (K_{K3} I_m).$$

Угол  $\varphi_B$  (рисунок 1) соответствует моменту срабатывания геркона при идеальной установке в расчетные координаты со стороны ВН трансформатора. Из рассчитанных данных выбираются максимальное  $\varphi_{Bmax}$  и минимальное  $\varphi_{Bmin}$  значения угла  $\varphi_B$ . Затем изменяя  $x$  от  $-d/2$  до  $d/2$  с шагом 5 мм, и каждый раз просчитывая наихудшие случаи сочетаний погрешностей установки, находятся  $\varphi_{Bmin}, \varphi_{Bmax}$ . После этого, используя массив величин  $\varphi_B$ , выбирается такое значение  $x$ , которому соответствуют минимальный угол  $\varphi_{Bmin}$  и максимальный  $\varphi_{Bmax}$ .

Для Г1 получено  $x_{Г1}^{BH} = 0,102$  м в электроустановках (ЭУ) напряжением 10 кВ и  $x_{Г1}^{BH} = 0,204$  м в ЭУ 35 кВ (при  $h = 0,4$  м и  $d = 0,44$  м [3] принимаем  $\Delta h = \Delta x = 10$  мм,  $\Delta \gamma = 100$ ). Значения координат  $x_{Г2}^{BH}, x_{Г3}^{BH}$  для Г2 и Г3 находятся аналогично. Для ЭУ 10 кВ  $x_{Г2}^{BH} = 0,11$  м или  $x_{Г2}^{BH} = 0,33$  м;  $x_{Г3}^{BH} = 0,338$  м и для ЭУ 35 кВ  $x_{Г2}^{BH} = 0,22$  м или  $x_{Г2}^{BH} = 0,66$  м,  $x_{Г3}^{BH} = 0,677$  м. При этих  $x$  имеем  $\gamma_{Г1} = -90^\circ$ ,  $\gamma_{Г2} = -30^\circ$  или  $\gamma_{Г2} = 30^\circ$ ,  $\gamma_{Г3} = 90^\circ$  в ЭУ 10 и 35 кВ. Зависимость  $(\varphi_{Bmax} - \varphi_{Bmin}) = f(x)$  при изменении  $x$  от  $-d/2$  до  $5d/2$  для герконов Г1, Г2 и Г3 приведена на рисунке 2, где точки  $F_{Г1}, F_{Г2}, F_{Г3}$  – координаты установки герконов в [1], а точки  $E_{Г1}, E_{Г2}, E_{Г3}$  – координаты установки с учетом проведенной оптимизации.

Отметим, что при этом Г1 должен иметь такую чувствительность, чтобы срабатывать при двухфазном КЗ  $K_{AB}^{(2)}$ , то есть

$$H_{Г1} = H_{ВН}^{AB} = \frac{V_{ПР}^{AB}}{\mu_0} = \frac{I_{ВН}^{AB} (g_A - g_B)}{2\pi}, \quad (6)$$

где  $H_{Г1}$  – напряженность срабатывания Г1 в испытательной катушке;

$H_{ВН}^{AB}$  – напряженность МП вблизи токопроводов в центре тяжести Г1, созданного током  $I_{ВН}^{AB}$  фаз А и В при КЗ.

Из рисунка 2 видно, что для Г2 при  $x_{Г2}^{BH} = -0,077$  и  $x_{Г2}^{BH} = 0,517$  разность  $(\varphi_{Bmax} - \varphi_{Bmin})$  достигает своего минимального значения, то есть  $10^\circ$ , однако напряженность МП в этих точках,  $H_{Г2} = \frac{I_{ВН}^{BC} (g_B - g_C)}{2\pi}$ , меньше 200 А/м, (напряженность срабатывания чувстви-

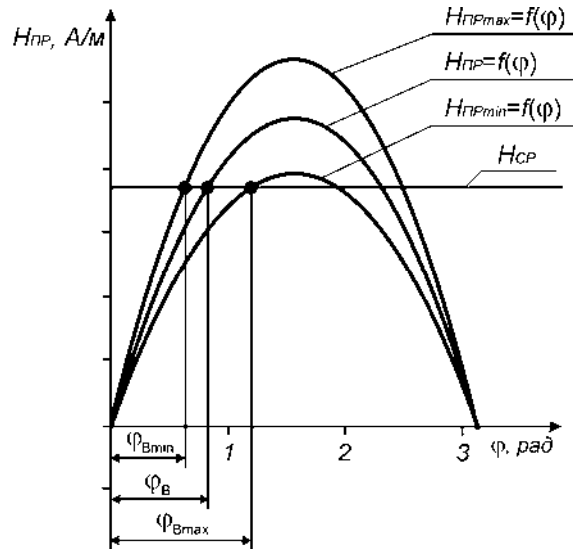


Рисунок 1 – Зависимость  $H_{ПР} = f(\varphi)$

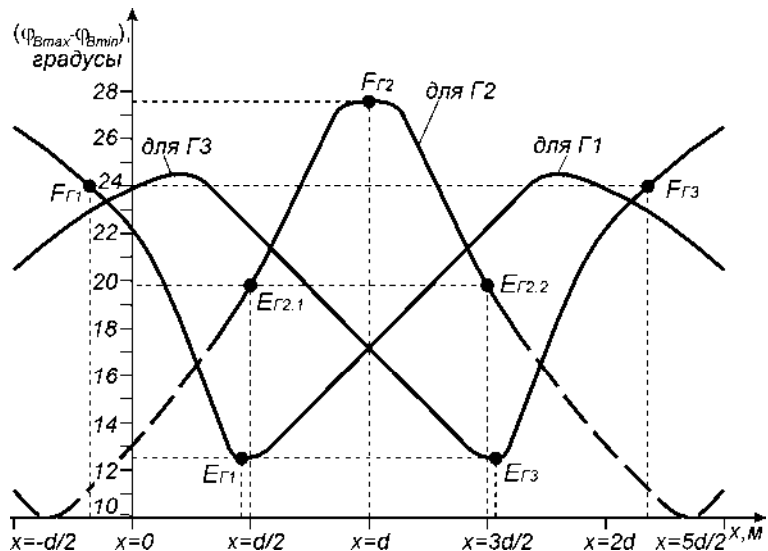


Рисунок 2 – Зависимость  $(\varphi_{Bmax} - \varphi_{Bmin}) = f(x)$  для герконов Г1-Г3, трансформатор с соединением обмоток Y/Y

тельного геркона). Зависимость  $(\varphi_{B_{\max}} - \varphi_{B_{\min}}) = f(x)$  при которой  $H_r$  меньше 200 А/м, показана толстой пунктирной линией.

Со стороны низшего напряжения (НН), как 10 кВ там и 0,4 кВ, защищаемых трансформаторов с соединением обмоток Y/Y выбор координат установки герконов Г4, Г5, Г6 и углов  $\varphi_{H_{\max}}, \varphi_{H_{\min}}$  осуществляется также, как для Г1-Г3 в ЭУ 10 кВ. Поэтому величины  $x, h, \gamma$  для Г4-Г6 равны рассчитанным величинам  $x, h, \gamma$  для Г1-Г3 соответственно.

Для трансформаторов с соединением обмоток Y/Δ-11 с помощью выбора координат установки герконов Г4-Г6 следует отстроиться от угла 30° между одноименными фазами со стороны ВН и НН. Так, на каждый геркон, установленный под токопроводами стороны НН, в нормальном режиме работы действует МП с напряженностью

$$\dot{H}_{\text{ПР}} = \frac{g_a(j_a - j_b) + g_b(j_b - j_c) + g_c(j_c - j_a)}{2\pi} \quad (7)$$

Геркон Г4 должен быть установлен так, чтобы на него действовало МП, обусловленное вторичным током  $i_a$  трансформатора, то есть  $\dot{H}_{\text{ПР.Г4}} = f(i_a)$ . Для этого необходимо, чтобы выполнялись равенства

$$(g_{b,Г4} - g_{a,Г4}) = (g_{c,Г4} - g_{b,Г4}) \text{ или } g_{b,Г4} = (g_{c,Г4} + g_{a,Г4})/2 \quad (8)$$

Тогда, с учетом того, что в симметричном режиме работы  $j_b + j_c = -j_a$ , формула (7) примет вид

$$\dot{H}_{\text{ПР.Г4}} = \frac{1,5j_a(g_{a,Г4} - g_{c,Г4})}{2\pi} \quad (9)$$

Для Г5, Г6 необходимо выполнение следующих условий

$$g_{c,Г5} = (g_{a,Г5} + g_{b,Г5})/2 \text{ или } g_{a,Г6} = (g_{b,Г6} + g_{c,Г6})/2 \quad (10)$$

Решая уравнения (8), (10) с учетом (2), определяются углы  $\gamma$  для Г4, Г5, Г6. Затем выбирается  $x$ , аналогично тому, как это делалось для Г1, Г2, Г3, и из формулы

$$H_{\text{ПР}} = K_{\text{КЗ}} \frac{(g_{\text{АП}} - g_{\text{СП}})I_{\text{мА}} \sin \varphi_{\text{Н}} + (g_{\text{ВП}} - g_{\text{АП}})I_{\text{мВ}} \sin(\varphi_{\text{Н}} - 120^\circ) + (g_{\text{СП}} - g_{\text{ВП}})I_{\text{мС}} \sin(\varphi_{\text{Н}} + 120^\circ)}{2\pi} \quad (11)$$

выражается угол  $\varphi_{\text{Н}}$  ( $\varphi_{\text{Н}}$  соответствует моменту срабатывания геркона при идеальной установке в рассчитанные координаты стороны НН). При этом получается формула, аналогичная (5), в которой

$$k_1 = 1,5(g_{\text{АП}} - g_{\text{СП}}); k_2 = 0,866(g_{\text{АП}} + g_{\text{СП}} - 2g_{\text{ВП}}); k_3 = \frac{H_{\text{ПР}}\pi}{K_{\text{КЗ}}I_{\text{м}}}$$

Далее из массива величин  $\varphi_{\text{Н}}$  выбирается такое значение  $x$ , которому соответствуют минимальный угол  $\varphi_{H_{\max}}$  и максимальный  $\varphi_{H_{\min}}$ . Для ЭУ 10 кВ это  $x_{Г4}^{\text{НН}} = 0,22$  м,  $x_{Г5}^{\text{НН}} = -0,047$  м,  $x_{Г6}^{\text{НН}} = 0,487$  при которых  $\gamma_{Г4} = \gamma_{Г5} = \gamma_{Г6} = 90^\circ$ .

На рисунке 3 приведена зависимость  $(\varphi_{H_{\max}} - \varphi_{H_{\min}}) = f(x)$  для герконов Г4, Г5 и Г6, устанавливаемых со стороны НН защищаемого трансформатора с соединением обмоток Y/Δ-11.

Для нахождения граничного угла  $\varphi_{ГР}$  [4] необходимо знать сдвиги (по фазе)  $\varphi_{П1}$  и  $\varphi_{П2}$  между углами  $\varphi_{\text{В}}$  и  $\varphi_{\text{Н}}$ , характеризующие максимальную разницу во времени срабатывания герконов 1 и 4

$$\varphi_{П1} = \varphi_{B_{\max}} - \varphi_{H_{\min}}; \varphi_{П2} = \varphi_{H_{\max}} - \varphi_{B_{\min}} \quad (12)$$

Максимальные и минимальные углы в (12) определяются из (4) и (11). Проведенный анализ показывает, что  $\varphi_{П}$  увеличивается при уменьшении ККЗ, но не превышает 20° для трансформаторов Y/Y и Y/Δ-11 мощностью не менее 6,3 (40) МВА с высшим напряжением 10 (35) кВ.

Отстройка от регулирования напряжения под нагрузкой. Чтобы не увеличивать угол  $\varphi_{П}$  из-за изменения тока в токопроводах при этом регулировании, необходимо на герконах иметь по обмотке и подавать в нее ток  $I_{\text{ПОД}}$  подмагничивания через устройство (рисунок 4), состоящее из блоков 1 и 2 коммутации и управления. Количество сопротивлений  $N_r$  и реле

$N_k$  в блоке 1 зависит от количества ступеней регулирования  $N$ . При переключении устройства РПН для увеличения коэффициента  $k_{ТР}$  трансформации трансформатора необходимо уменьшить ток  $I_{ПОД}$ . Для этого в цепь обмотки вводится сопротивление  $R$  (контакты реле, шунтирующие его, размыкаются). Обмотки реле в блоке 1 запитываются от блока 2, получающего информацию от контактов реле «прибавить» и «убавить» устройства РПН. Блок 2 управляет реле в блоке 1 по сигналам от устройства РПН. Когда  $k_{ТР}$  минимален, то постоянный ток в обмотку подается через контакты реле (все сопротивления при этом зашунтированы). Ток  $I_{ПОД}$  создает МП в центре на оси обмотки с напряженностью [5]

$$H_{ПОД} = \frac{I_{ПОД}W}{\sqrt{I_{ОБМ}^2 + D_{СР}^2}} = k_1 I_{ПОД} = k_1 \frac{U_{ПОД}}{Z_{ОБМ}}, \quad (13)$$

где  $D_{СР}$  – средний диаметр обмотки;  
 $I_{ОБМ}$  – длина каркаса обмотки;  
 $W$  – количество витков обмотки;  
 $Z_{ОБМ}$  – сопротивление обмотки;  
 $U_{ПОД}$  – напряжение, подводимое к обмотке.

При этом напряженность МП, при которой срабатывает, например, геркон Г4 (закрывает нормально разомкнутые контакты),  $H_{СР} = H_{ПОД} + H_{ПР}$ . Откуда, с учетом (9),

$$H_{ПОД} = H_{СР} - \frac{1,5I_A(g_{АГ4} - g_{СГ4})}{2\pi} = H_{СР} - k_2 I_A. \quad (14)$$

Приравнявая (13) и (14), имеем

$$k_1 \frac{U_{ПОД}}{Z_{ОБМ}} = H_{ПОД} = H_{СР} - k_2 I_A. \quad (15)$$

При переключении устройства РПН в сторону увеличения  $k_{ТР}$  на одно ответвление формула (15) примет вид

$$k_1 \frac{U_{ПОД}}{Z_{ОБМ} + R} = H_{ПОД} = H_{СР} - k_2 I_A \left(1 + \frac{\Delta I}{100}\right), \quad (16)$$

где  $\Delta I$  – цена деления ответвления устройства РПН, %.

Из (16) легко определяем сопротивление  $R$ .

Угол  $\alpha$  блокировки. Учитывает все погрешности [4]

$$\alpha = \varphi_{П} + \varphi_{ВН-НН} + \varphi_{ОДН},$$

где  $\varphi_{ВН-НН}$  – угол между векторами токов одноименных фаз с ВН и НН трансформатора, который может достигать  $20^\circ$  через 0,01-0,02 с (время работы фазосравнивающих схем) после возникновения КЗ в трансформаторе;

$\varphi_{ОДН}$  – угол, учитывающий разницу во времени срабатывания двух герконов, установленных с ВН и НН, для однотипных герконов  $\varphi_{ОДН} = 1$  мс ( $18^\circ$ ) и разнотипных

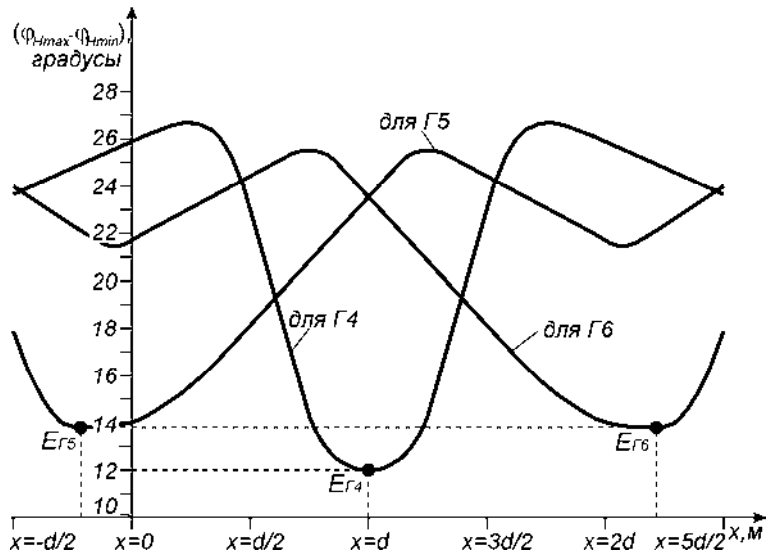


Рисунок 3 – Зависимость  $(\varphi_{Нmax} - \varphi_{Нmin}) = f(x)$  для герконов Г4-Г6, трансформатор с соединением обмоток  $Y/\Delta$ -11

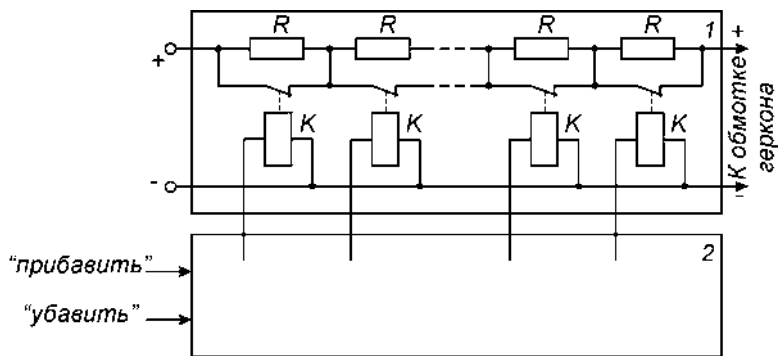


Рисунок 4 – Принципиальная схема устройства отстройки от РПН: 1-блок коммутации, 2-блок управления

$$\varphi_{\text{одн}} = 4 \text{ мс } (72^\circ) [1].$$

Таким образом, для трансформаторов Y/Y и Y/Δ-11 при наличии однотипных герконов со стороны ВН и НН угол  $\alpha = 20^\circ + 20^\circ + 18^\circ = 58^\circ$ , что позволяет применять широко используемые фазосравнивающие схемы с  $\varphi_{\text{ГР}} = 90^\circ$ . При использовании разнотипных герконов угол  $\alpha = 20^\circ + 20^\circ + 72^\circ = 112^\circ$ , то есть область срабатывания ( $180^\circ - 112^\circ$ ) меньше  $90^\circ$ , поэтому следует применять схемы, сравнивающие время совпадения с временем несовпадения сигналов.

**Вывод.** С помощью предложенных методов учета погрешностей установки однотипных герконов и устройства отстройки от влияния РПН можно уменьшить угол блокировки дифференциально-фазных защит трансформаторов мощностью не менее 6,3 (40) МВА с ВН 10 (35) кВ до значений, позволяющих использовать самые распространенные фазосравнивающие схемы с  $\varphi_{\text{ГР}} = 90^\circ$ .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Клецель, М.Я. Особенности построения на герконах дифференциально-фазных защит трансформаторов / М.Я. Клецель, П.Н. Майшев // Электротехника. -2007. -№12. -С. 2-7.
- 2 Клецель, М.Я. О построении на герконах защит высоковольтных установок без трансформаторов тока / М.Я. Клецель, В.В. Мусин // Электротехника. -1987. -№4. -С. 11-13.
- 3 Правила устройства электроустановок. -СПб: Деан, 2003. -928 с.
- 4 Федосеев, А.М. Релейная защита электрических систем / А.М. Федосеев. -М.: Энергия, 1976. -560 с.
- 5 Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники / Л.А. Бессонов. -М.: Высшая школа, 1986.
- 6 Клецель, М.Я. Свойства герконов при использовании их в релейной защите / М.Я. Клецель, Ж.Р. Алишев, А.В. Мануковский, В.В. Мусин // Электричество. -1993. -№9. -С. 18-21.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ток, магнитное поле, преобразователь тока, напряженность, электроустановка, токопровод  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Майшев Павел Николаевич, канд. техн. наук, доцент «ПГУ им. С. Торайгырова»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64, «ПГУ им. С. Торайгырова»

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАПАЗОНА РАЗБРОСА ПАРАМЕТРОВ ТРАВЕРС ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Локомотивное ремонтное депо Московка Дирекции по ремонту локомотивов Западно-Сибирской железной дороги – филиала ОАО «Российские железные дороги»

**Ш.К. Исмаилов, О.В. Гателюк, Д.В. Юрасов, О.Д. Юрасов, З.А. Жолдаспаева**

**RESEARCH OF A RANGE OF DISORDER OF PARAMETERS TRAVERSE OF TRACTION ELECTRIC MOTORS**  
 «Omsk state transport university»  
 Locomotive repair depot Moskovka of Management on repair of locomotives of the Western-Siberian railway – branch JSC «Russian railways»  
 Sh.K. Ismailov, O.V. Gateljuk, D.V. Yurasov, O.D. Yurasov, Z.A. Zholdaspayeva

In article need of carrying out statistical researches of parameters of one of elements collector knot of traction TL-2K1 electric motors – traverses is proved. The assessment of influence of their disorder on a divergence of shchetkoderzhatel from the initial provisions is given. The equation of regression of shift of a shchetkoderzhatel and brushes from a geometrical neutral depending on size a raszhatiya traverses is received.

*Keywords: traction electric motor, collector knot, traverse, shchetkoderzhatel, razzhimny device geometrical neutral*

Обоснована необходимость проведения статистических исследований параметров одного из элементов коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей ТЛ-2К1 – траверсы. Дана оценка влияния их разброса на расхождение щеткодержателей от своих первоначальных положений. Получено уравнение регрессии смещения щеткодержателя и щеток с геометрической нейтральной в зависимости от величины расжатия траверсы.

Одним из условий бесперебойной работы железнодорожного транспорта является обеспечение надежной работы электровозов в целом и тяговых электрических машин (ТЭМ) в частности. Анализ многочисленных статистических данных по отказам электровозов по сети железных дорог России показывает, что в 50-65% случаев отказы тяговых электродвигателей (ТЭД) происходят по причинам электрической природы, а именно пробой и МВЗ якоря, главных полюсов (ГП), дополнительных полюсов (ДП), компенсационной обмотки (КО), а

также отказы по коллекторно-щеточному узлу (КЩУ). В связи с этим необходимо уделять должное внимание вопросам повышения надежности работы ТЭД.

Тяговые электродвигатели электровозов в условиях эксплуатации работают как при левом, так и правом вращении якоря, то есть реверсивные, а также обладая свойством обратимости – как в режиме двигателя, так и в режиме генератора. Следовательно, для обеспечения нормальной работы КЩУ необходимо обязательное выполнение следующего условия: а именно, установка щеток на геометрическую нейтраль, а также равномерное распределение щеткодержателей по всей длине коллектора (окружности).

В связи с этим целью данной статьи является исследование диапазона разброса параметров траверс на примере ТЭД ТЛ-2К1.

Согласно работы [1] важным фактором устойчивой работы машины постоянного тока является установка электрических щеток на геометрическую нейтраль. Смысл которой заключается в следующем: линия на поверхности якоря, проходящая в осевом направлении посередине между двумя соседними ГП, называется линией геометрической нейтрали или геометрической нейтралью, так как вдоль этой линии магнитная индукция –  $B_k$  равна нулю.

При установке щеток на геометрической нейтрали поле якоря направлено поперек оси полюсов. В данном случае оно называется полем поперечной реакции якоря, которое вызывает ослабление поля под одним краем полюса и его усиление под другим, вследствие чего ось результирующего магнитного поля ТЭД поворачивается в направлении противоположном вращению якоря.

Под воздействием поперечной реакции якоря нейтральная линия на его поверхности поворачивается из положения 1-1 линии геометрической нейтрали на определенный угол  $\beta$  в положение 2-2, которое называется линией физической нейтрали.

Следует отметить, что ТЭД ТЛ-2К1 имеют траверсу разрезного типа, а вспомогательные машины электровозов ВЛ-10 (ДК-405, ТЛ-110М, НБ-431П, НБ-436В) – траверсы неразрезного типа с одним направлением вращения (правое) якоря.

На новых электровозах серии 2ЭС6 используются три типа ТЭД: на ЭДП 810-У1 и ДПТ 810-2У1 используются траверсы разрезного типа, а на ТЭД СТК 810-У1 – неразрезного, по типу электродвигателей АЛ-1846еТ, электровозов серии ЧС [2].

Для закрепления траверсы в пазу подшипникового щита (ПЩ) предусмотрено разжимное устройство. Фиксация траверсы после установки ее в ПЩ производится с помощью специального фиксатора и двух прижимных механизмов. В результате проведенных многочисленных измерений посадочных диаметров траверс и подшипниковых щитов установлено, что они имеют разбросы в пределах от 857 мм до 874,4 мм и от 872 мм до 879 мм соответственно, которые приведены в таблицах 1 и 2. Необходимо учесть, что данные размеры находятся в пределах 857-876 мм согласно [3]. Как видно из таблицы 2 у некоторых ПЩ имеются диаметры, выходящие за регламентированные пределы.

На основании анализа таблица 1 можно сделать вывод о том, что наиболее часто

*Таблица 1 – Разброс размеров посадочного диаметра траверсы*

Диаметр траверсы	Количество замеров	Частость	$M(x)$	$\sigma(x)$	$3\sigma$ интервал
857-858,94	13	0,09	865,86	5,38	849,72-882,00
858,94-860,88	28	0,19			
860,88-862,82	14	0,10			
862,82-864,76	13	0,09			
864,76-866,7	7	0,05			
866,7-868,64	11	0,07			
868,64-870,58	14	0,10			
870,58-872,52	31	0,21			
872,52-874,4	13	0,09			

*Таблица 2 – Разброс размеров посадочного диаметра ПЩ под траверсу*

Диаметр ПЩ	Количество замеров	Частость	$M(x)$	$\sigma(x)$	$3\sigma$ интервал
872-872,78	23	0,16	874,89	1,82	869,43-880,35
872,78-873,56	17	0,12			
873,56-874,34	19	0,13			
874,34-875,12	17	0,12			
875,12-875,9	22	0,15			
875,9-876,68	21	0,14			
876,68-877,46	13	0,10			
877,46-878,24	4	0,03			
878,24-879	8	0,05			



встречающиеся посадочные диаметры траверсы в эксплуатации находятся в пределах 858,94-860,88 мм и 870,58-872,52 мм. В качестве иллюстрации на рисунке 1 приведена гистограмма разброса размеров посадочного диаметра траверсы.

На основании анализа статистических данных, приведенных в таблице 2 можно сделать вывод, что наиболее часто встречающиеся посадочные диаметры ПЩ находятся в пределах 872-872,8 мм и 875,12-875,9 мм, по результатам которой построена гистограмма разброса размеров посадочного диаметра ПЩ под траверсу (рисунок 2).

Ниже описываются статистические исследования влияния разброса перечисленных параметров, а именно: диаметра подшипникового щита и траверсы на расхождение плюсового и минусового щеткодержателя траверсы от первоначальных положений. Исследования проводились на стационарном стенде локомотивного ремонтного депо Московка.

Было проведено статистическое исследование 144 траверс со следующими значениями расжатия: 4 мм, 6 мм, 8 мм, 10 мм, 12 мм и 15 мм. Кроме того изучалось смещение 3-го, 4-го, 5-го и 6-го щеткодержателей траверсы от своих первоначальных положений. Установлено, что первый и второй щеткодержатели в процессе эксперимента не смещаются, а наибольшее смещение происходит у плюсового №4 и минусового №5 щеткодержателей, непосредственно находящихся у разжимного устройства, поэтому максимальное внимание обращено на них. Следует отметить, что в результате наблюдений была выявлена следующая закономерность: щеткодержатели каждой отдельно взятой траверсы смещаются от своих первоначальных положений по-разному. По результатам эксперимента всю выборку можно разделить на две группы. К первой группе отнесем те траверсы, щеткодержатели которых смещаются от своих первоначальных положений по закону, близкому к линейному, ко второй группе – у которых смещение происходит по нелинейному закону. К первой группе было отнесено 119 траверс, а ко второй – 25. Для каждой из этих групп было найдено среднее значение смещения в зависимости от величины расжатия траверсы, а затем для средних значений каждой из групп было получено уравнение регрессии

$$l = ax + b,$$

где  $l$  – смещение щеткодержателя;  
 $x$  – величина расжатия траверсы;  
 $a, b$  – коэффициенты регрессии.

Покажем для каждой из этих групп, на примере минусового щеткодержателя, находящегося у разжимного устройства, как сама зависимость среднестатистической величины смещения, так и соответствующее ей уравнение регрессии (рисунок 3).

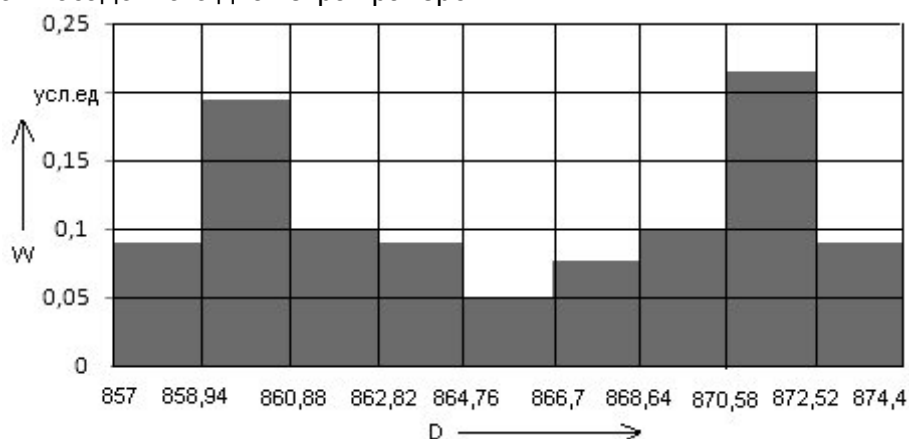


Рисунок 1 – Гистограмма разброса размеров посадочного диаметра траверсы ТЭД ТЛ-2К1

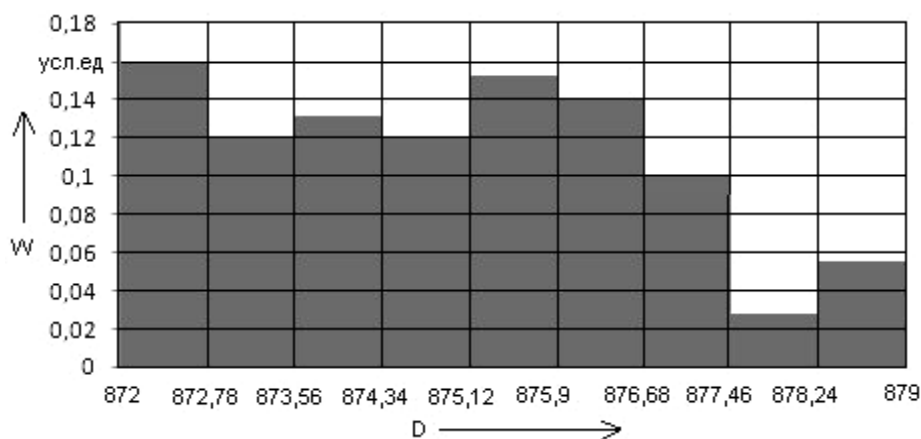


Рисунок 2 – Гистограмма разброса размеров диаметра ПЩ под траверсу

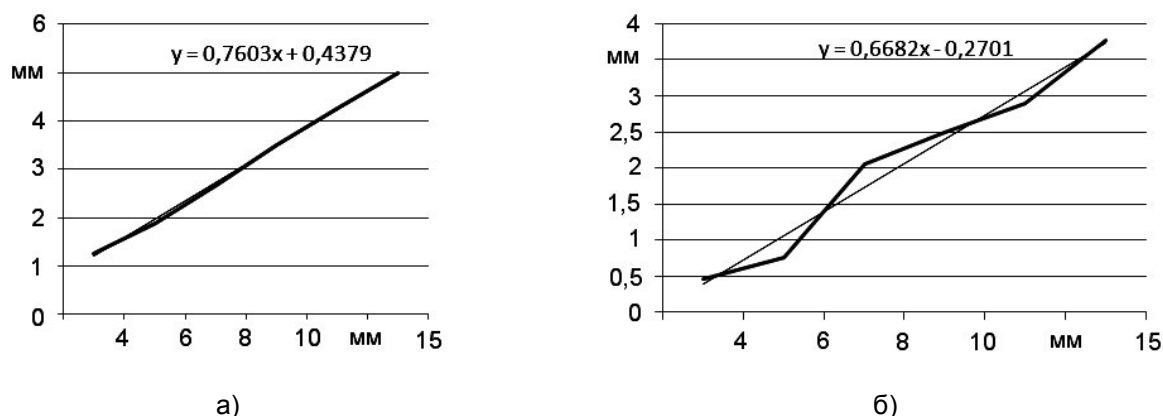


Рисунок 3 – Среднестатистическое отклонение минусового щеткодержателя первой (а) и второй (б) групп

Пусть  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 6$ ) – величина расжатия траверсы;  $l_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 6$ ) – среднее значение смещения данного щеткодержателя для каждой из выделенных групп, полученное из эксперимента. Пусть  $\hat{l}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 6$ ) – среднее значение смещения данного щеткодержателя для каждой из выделенных групп, полученное из уравнения регрессии. Для оценки качества уравнений регрессии была вычислена величина  $s^2$  суммы квадратов отклонений значений  $\hat{l}_i$  от  $l_i$ :

$$s^2 = \sum_{i=1}^6 (\hat{l}_i - l_i)^2 .$$

Для первой группы траверс получено значение  $s^2 = 0,045$ , а для второй группы траверс –  $s^2 = 0,080$ , это показывает, что даже для средних значений у второй группы траверс отклонения от линейного закона больше, чем у первой группы.

Из полученных графиков и уравнений регрессии видно, что при расжатии траверсы на 15 мм (в эксплуатации происходит довольно часто) щеткодержатель смещается в среднем от своего первоначального положения на 5 мм. Необходимо также не забывать, что при этом происходит смещение и плюсового щеткодержателя, находящегося у разжимного устройства (по данным исследований среднестатистическое смещение оказывается равным 4,7 мм при расжатии на 15 мм). То есть смещение обоих щеткодержателей друг относительно друга может достигать 10 мм, что может оказать существенное влияние на ухудшение качества коммутации.

В результате статистических исследований геометрии КЩУ установлено, что из-за больших разбросов в посадочных диаметрах ПЩ и траверсы, происходит существенное смещение плюсового и минусового щеткодержателей, находящихся у разжимного устройства, которое, в свою очередь, приводит к смещению щеток с геометрической нейтральной.

Объем статистических исследований позволяет с доверительной вероятностью 0,95, относительной ошибкой 0,3 мм утверждать, что результаты данных наблюдений достоверны. Выводы исследований проверены с использованием критериев Пирсона, Колмогорова, что также подтверждает достоверность полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Вольдек, А.И. Электрические машины: учеб. для студентов высш. техн. учеб. заведений / А.И. Вольдек. -3-е изд., перераб. -Л.: Энергия, 1978. -832 с.: ил.
- 2 Электровоз грузовой постоянного тока 2ЭС6 с коллекторными тяговыми электродвигателями: рук. по эксплуатации. Ч.4.
- 3 Руководство по техническому обслуживанию и текущему ремонту тяговых электродвигателей локомотивов: ПКБ ЦТ.006.0001.2009. -181 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *тяговый электродвигатель, коллекторно-щеточный узел, траверса, щеткодержатель, разжимное устройство, геометрическая нейтраль*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Исмаилов Шафигула Калимуллович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ОмГУПС» Гателюк Олег Владимирович, канд. физ.-мат. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС» Юрасов Дмитрий Вениаминович, мастер мастер локомотивного ремонтного дела Московка*

*Юрасов Олег Дмитриевич, студент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС» Жолдаслаева Зарина Асылбековна, аспирант ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*  
*644120, г. Омск, ст. Московка, Локомотивное ремонтное дело Московка*

# ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Р.Ю. Ткачук, А.С. Глазырин, В.И. Полищук

## PARAMETER IDENTIFICATION OF DYNAMIC CONTROL OBJECTS USING GENETIC ALGORITHMS

«National research «Tomsk polytechnic university»

R.Yu. Tkachuk, A.S. Glazyrin, V.I. Polichshuk

An algorithm for parameter identification of dynamic management objects based on genetic algorithm, which allows estimating the parameters from observational data on input and output signals.

Keywords: parameter identification, genetic algorithm

Предложен алгоритм идентификации параметров динамических объектов управления на основе генетического алгоритма, позволяющий оценить значения параметров по данным наблюдений за входным и выходным сигналами.

Для настройки системы управления электропривода необходимо знать параметры электродвигателя. Наиболее распространенным методом оценивания параметров является метод наименьших квадратов. Один из его недостатков – сходимость к локальному минимуму. Использование методов глобальной оптимизации, таких как генетические алгоритмы (ГА), позволяет избежать локальной сходимости. На рисунке 1 представлена структурная схема процедуры идентификации параметров объекта управления.

Предлагается в качестве целевой функции ГА применить

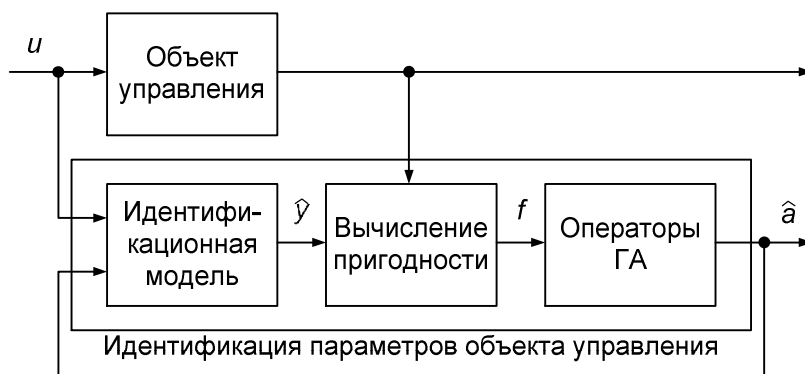


Рисунок 1 – Структурная схема процедуры идентификации параметров объекта управления с применением ГА:  $u$  - вектор входных воздействий;  $y$  - вектор измеряемых переменных состояния, переходные характеристики которых используются для идентификации;  $\hat{y}$  - вектор оценок измеряемых переменных состояний;  $f$  - значение функции пригодности;  $\hat{a}$  - вектор оценок параметров объекта управления

$$f(\hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_3) = \sum_k \frac{\int_0^{t_\Sigma} |y_k(t) - \hat{y}_k(t, \hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_3)| dt}{\int_0^{t_\Sigma} |y_k(t)| dt},$$

где  $f(\cdot)$  – целевая функция;

$\hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_3$  – оценки идентифицируемых параметров;

$t_\Sigma$  – общее время переходных процессов, используемых для идентификации, с;

$y_1, y_2, \dots, y_3$  – измеряемые переменные состояния, переходные характеристики которых используются для идентификации;

$\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_3$  – оценки переменных состояния, переходные характеристики которых используются для идентификации.

Использовался непрерывный ГА (real-coded GA) [1, 2], при котором хромосома представляет собой вектор вещественных чисел. В этом случае точность переменных зависит только от разрядной сетки ЭВМ, на которой реализуется алгоритм. Диапазон поиска величин параметров был ограничен допустимыми для идентифицируемого объекта значениями. Особи начальной популяции также распределялись во всем диапазоне допустимых значений. Для увеличения производительности ГА и предотвращения преждевременной сходимости

сти применялся ГА с миграцией особей в предыдущую и следующую подпопуляции. Количество подпопуляций и особей в них определялось подбором. ГА останавливался при достижении функцией пригодности заданного значения, после чего для поиска локального минимума использовалась гибридная функция поиска по образцу (pattern search).

Идентификация параметров двигателя постоянного тока независимого возбуждения. В исследуемом электроприводе коммутация обмотки якоря и независимой обмотки возбуждения на источники напряжений производится одновременно, поэтому необходимо учитывать зависимость потока возбуждения от времени. Была использована математическая модель двигателя постоянного тока (ДПТ) с упрощенной моделью цепи обмотки возбуждения, описываемая системой дифференциальных уравнений [3]:

$$\begin{cases} \frac{di_{\mu}(t)}{dt} = \frac{U_{\varepsilon}(t) - R_{\varepsilon}i_{\mu}(t)}{T_{\varepsilon}}; \\ \Phi(t) = k_{\Phi}i_{\mu}(t); \\ \frac{di_{\text{я}}(t)}{dt} = \frac{U_{\text{я}}(t) - R_{\text{я}}i_{\text{я}}(t) - k\Phi(t)\omega(t)}{L_{\text{я}}}; \\ \frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{k\Phi(t)i_{\text{я}}(t) - M_c(t)}{J_{\Sigma}}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $i_{\mu}(t)$  – ток намагничивания, А;

$U_{\varepsilon}(t)$  – напряжение, приложенное к цепи обмотки возбуждения, В;

$R_{\varepsilon}$  – сопротивление цепи обмотки возбуждения, Ом;

$T_{\varepsilon}$  – постоянная времени цепи обмотки возбуждения, с;

$\Phi(t)$  – полезный магнитный поток возбуждения, Вб;

$k_{\Phi}$  – коэффициент пропорциональности между полезным потоком возбуждения и током намагничивания, Вб/А;

$i_{\text{я}}(t)$  – ток якорной цепи, А;

$U_{\text{я}}(t)$  – напряжение, приложенное к якорной цепи, В;

$R_{\text{я}}$  – сопротивление якорной цепи, Ом;

$k$  – конструктивный коэффициент двигателя;

$\omega(t)$  – угловая скорость вращения вала двигателя, рад/с;

$L_{\text{я}}$  – индуктивность якорной цепи, Гн;

$M_c(t)$  – момент сопротивления нагрузки, Н·м;

$J_{\Sigma}$  – суммарный момент инерции, приведенный к валу двигателя, кг·м<sup>2</sup>.

Параметры цепи обмотки возбуждения  $k_{\Phi}$ ,  $k$  и  $R_{\varepsilon}$  нельзя идентифицировать по переходным характеристикам, поэтому был введен коэффициент

$$k_{\varepsilon} = k_{\Phi}k/R_{\varepsilon}.$$

Тогда (1) принимает вид:

$$\begin{cases} \frac{d\Phi(t)}{dt} = \frac{k_{\varepsilon}U_{\varepsilon}(t) - k\Phi(t)}{T_{\varepsilon}k}; \\ \frac{di_{\text{я}}(t)}{dt} = \frac{U_{\text{я}}(t) - R_{\text{я}}i_{\text{я}}(t) - k\Phi(t)\omega(t)}{L_{\text{я}}}; \\ \frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{k\Phi(t)i_{\text{я}}(t) - M_c(t)}{J_{\Sigma}}. \end{cases}$$

Были определены параметры ДПТ НВ по переходным характеристикам тока якорной цепи и скорости двигателя при пуске, набросе нагрузки, сбросе нагрузки и торможении двигателя. Переходные характеристики ДПТ НВ представлены на рисунке 2. В качестве целевой функции ГА была принята

$$f(\hat{R}_{\text{я}}, \hat{L}_{\text{я}}, \hat{k}_{\varepsilon}, \hat{T}_{\varepsilon}, \hat{J}_{\Sigma}) = \frac{\int_0^{t_{\Sigma}} |\omega(t) - \hat{\omega}(t, \hat{R}_{\text{я}}, \hat{L}_{\text{я}}, \hat{k}_{\varepsilon}, \hat{T}_{\varepsilon}, \hat{J}_{\Sigma})| dt}{\int_0^{t_{\Sigma}} |\omega(t)| dt} + \frac{\int_0^{t_{\Sigma}} |i_{\text{я}}(t) - \hat{i}_{\text{я}}(t, \hat{R}_{\text{я}}, \hat{L}_{\text{я}}, \hat{k}_{\varepsilon}, \hat{T}_{\varepsilon}, \hat{J}_{\Sigma})| dt}{\int_0^{t_{\Sigma}} |i_{\text{я}}(t)| dt},$$

где  $\omega$  – скорость двигателя, рад/с;

$\hat{\omega}$  – оценка скорости двигателя, рад/с;

$i_{я}$  – ток якорной цепи, А;

$\hat{i}_{я}$  – оценка тока якорной цепи, А.

Оценки моментов сопротивлений до наброса нагрузки  $\hat{M}_{c1}$  и после  $\hat{M}_{c2}$  рассчитывались по формуле

$$\hat{M}_c = \hat{k}_e U_{в.н} i_{я.у},$$

где  $U_{в.н}$  – номинальное напряжение цепи обмотки возбуждения; В;

$i_{я.у}$  – установившееся значение тока якорной цепи, А.

Для имитации объекта управления использовалась математическая модель ДПТ НВ с заданными параметрами. Поиск значений идентифицируемых параметров осуществлялся в диапазонах, границы которых указаны в таблице 1. Также этим диапазонам принадлежали особи начальной популяции.

Таблица 1 – Минимальные и максимальные значения параметров ДПТ НВ

Параметр	$R_{я}$ , Ом	$L_{я}$ , Гн	$k_e$ , Вб/(А·Ом)	$T_e$ , с	$J_{\Sigma}$ , кг·м <sup>2</sup>
Минимальное значение	0,001	0,0005	0,001	0,005	0,001
Максимальное значение	500	50	0,05	1	5

Популяция состояла из 6 подпопуляций по 25 особей. ГА останавливался при достижении функции пригодности 0,4.

В таблице 2 приведены значения параметров ДПТ НВ, их оценки и погрешности оценивания.

Таблица 2 – Результаты идентификации параметров ДПТ НВ

Параметр	$R_{я}$ , Ом	$L_{я}$ , Гн	$k_e$ , Вб/(А·Ом)	$T_e$ , с	$J_{\Sigma}$ , кг·м <sup>2</sup>
Фактическое значение	0,278	0,00515	0,00607	0,113	0,095
Оценка	0,2784	0,00513	0,006073	0,1133	0,0953
Погрешность, %	0,14	0,35	0,11	0,24	0,32

Для проверки эффективности идентификации параметров ДПТ НВ с применением ГА проводилась экспериментальная проверка ДПТ НВ в лаборатории. Были получены переходные характеристики тока якоря и скорости вращения вала двигателя при пуске, набросе и сбросе нагрузки и торможении двигателя (рисунок 3). Пульсации тока и скорости, полученные при преобразовании электрической энергии, затрудняют применение ГА. Для сглаживания опытных данных использовалась взвешенная локальная квадратичная регрессия [4]. Сглаженные переходные характеристики представлены на рисунке 4. Полученные параметры сведены в таблице 3.

Для оценки точности идентификации сравнивались графики переходных процессов ДПТ НВ и его модели с идентифицированными параметрами.

Были найдены относительные интегральные значения модулей невязок фактических и модельных значений скорости вращения вала двигателя и тока якоря:

$$\delta_{\omega} = \frac{\int_0^{t_{\Sigma}} |\omega(t) - \hat{\omega}(t)| dt}{\int_0^{t_{\Sigma}} |\omega(t)| dt} 100\% = 1,8\%; \quad \delta_i = \frac{\int_0^{t_{\Sigma}} |i_{я}(t) - \hat{i}_{я}(t)| dt}{\int_0^{t_{\Sigma}} |i_{я}(t)| dt} 100\% = 11,3\%.$$

Относительные отклонения оценок тока якоря и скорости двигателя от сглаженных опытных значений в момент времени  $t_1$  составили:

$$\sigma_{\omega} = \frac{|\omega(t_1) - \hat{\omega}(t_1)|}{|\omega(t_1)|} 100\% = 3,1\%; \quad \sigma_i = \frac{|i_{я}(t_1) - \hat{i}_{я}(t_1)|}{|i_{я}(t_1)|} 100\% = 5,4\%.$$

Идентификация параметров асинхронного двигателя. Для уменьшения количества аргументов целевой функции ГА идентификация электрических и механических параметров

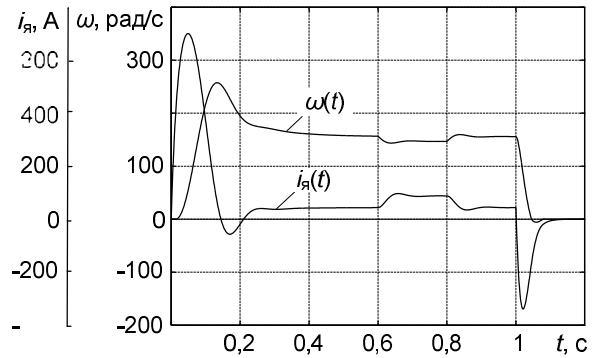


Рисунок 2 – Переходные характеристики ДПТ НВ, используемые для оценивания его параметров

АД проводилась отдельно. Для идентификации электрических параметров использовалась математическая модель в стационарной системе координат  $\alpha, \beta$ :

$$\begin{aligned} \frac{d\hat{I}_{1\alpha}(t)}{dt} &= \frac{1}{\hat{\sigma}\hat{L}_1} U_{1\alpha}(t) - \frac{\hat{R}_s}{\hat{\sigma}\hat{L}_1} \hat{I}_{1\alpha}(t) + \frac{\hat{R}'_2 \hat{L}_m}{\hat{\sigma}\hat{L}_1 \hat{L}_2^2} \hat{\Psi}_{2\alpha}(t) + \frac{\hat{L}_m}{\hat{\sigma}\hat{L}_1 \hat{L}_2} z_p \omega(t) \hat{\Psi}_{2\beta}(t); \\ \frac{d\hat{I}_{1\beta}(t)}{dt} &= \frac{1}{\hat{\sigma}\hat{L}_1} U_{1\beta}(t) - \frac{\hat{R}_s}{\hat{\sigma}\hat{L}_1} \hat{I}_{1\beta}(t) + \frac{\hat{R}'_2 \hat{L}_m}{\hat{\sigma}\hat{L}_1 \hat{L}_2^2} \hat{\Psi}_{2\beta}(t) + \frac{\hat{L}_m}{\hat{\sigma}\hat{L}_1 \hat{L}_2} z_p \omega(t) \hat{\Psi}_{2\alpha}(t); \\ \frac{d\hat{\Psi}_{2\alpha}(t)}{dt} &= -\frac{\hat{R}'_2}{\hat{L}_2} \hat{\Psi}_{2\alpha}(t) + \frac{\hat{R}'_2 \hat{L}_m}{\hat{L}_2} \hat{I}_{1\alpha}(t) - z_p \omega(t) \hat{\Psi}_{2\beta}(t); \\ \frac{d\hat{\Psi}_{2\beta}(t)}{dt} &= -\frac{\hat{R}'_2}{\hat{L}_2} \hat{\Psi}_{2\beta}(t) + \frac{\hat{R}'_2 \hat{L}_m}{\hat{L}_2} \hat{I}_{1\beta}(t) - z_p \omega(t) \hat{\Psi}_{2\alpha}(t). \end{aligned}$$

где  $\hat{R}_s$  – оценка эквивалентного сопротивления, Ом

$$\hat{R}_s = \hat{R}_1 + \hat{R}'_2 \frac{\hat{L}_m^2}{\hat{L}_2^2};$$

$\hat{R}_1$  – оценка активного сопротивления обмотки статора, Ом;

$\hat{R}'_2$  – оценка приведенного к статору сопротивления обмотки ротора, Ом;

$\hat{L}_1$  – оценка эквивалентной индуктивности обмотки статора, Гн;

$\hat{L}_2$  – оценка эквивалентной индуктивности обмотки ротора, Гн;

$\hat{L}_m$  – оценка результирующей индуктивности, обусловленной магнитным потоком в воздушном зазоре машины, Гн;

$\hat{\sigma}$  – оценка коэффициента рассеяния

$$\hat{\sigma} = 1 - \frac{\hat{L}_m^2}{\hat{L}_1 \hat{L}_2};$$

$z_p$  – число пар полюсов машины;

$U_{1\alpha}(t), U_{1\beta}(t)$  – составляющие напряжения статора, В;

$\hat{I}_{1\alpha}(t), \hat{I}_{1\beta}(t)$  – оценки составляющих тока статора, А;

$\hat{\Psi}_{2\alpha}(t), \hat{\Psi}_{2\beta}(t)$  – оценки составляющих потокосцепления ротора, Вб;

$\omega(t)$  – угловая скорость вращения ротора электродвигателя, рад/с.

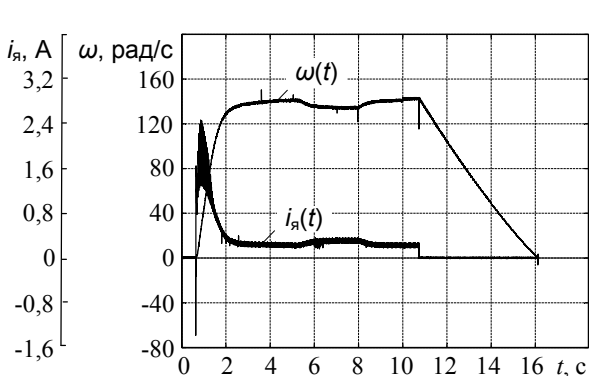


Рисунок 3 – Экспериментальные переходные характеристики, используемые для оценивания параметров ДПТ НВ

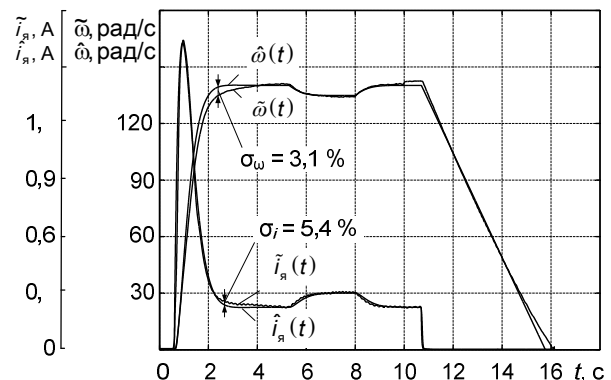


Рисунок 4 – Сглаженные экспериментальные переходные характеристики, используемых для оценивания параметров ДПТ НВ, и расчетные переходные характеристики ДПТ НВ

Были определены  $\hat{R}_1, \hat{R}'_2, \hat{L}_1, \hat{L}_2, \hat{L}_m$  по переходной характеристике модуля вектора тока статора  $I_1(t) = \sqrt{I_{1\alpha}^2(t) + I_{1\beta}^2(t)}$  при пуске, набросе нагрузки, сбросе нагрузки и торможении двигателя. Переходные характеристики АД, используемые для оценивания его параметров, приведены на рисунке 5. В качестве целевой функции ГА была принята

$$f(\hat{R}_1, \hat{R}'_2, \hat{L}_1, \hat{L}_2, \hat{L}_m) = \frac{\int_0^{t_\Sigma} |I_1(t) - \hat{I}_1(t, \hat{R}_1, \hat{R}'_2, \hat{L}_1, \hat{L}_2, \hat{L}_m)| dt}{\int_0^{t_\Sigma} |I_1(t)| dt}$$

Популяция состояла из 200 особей. ГА останавливался при достижении функции пригодности 0,4. Для имитации объекта управления использовалась математическая модель АД [5]. Поиск значений идентифицируемых параметров осуществлялся в диапазонах, границы которых указаны в таблице 4. Также этим диапазонам принадлежали особи начальной популяции.

Механические параметры АД определялись с использованием полученных оценок индуктивностей и потокосцепления ротора. Для этого применялась модель

$$\begin{cases} \hat{M}_{эм}(t) = \frac{3\hat{L}_m}{2\hat{L}_2} z_p [\Psi_{2\alpha}(t)I_{1\beta}(t) - \Psi_{2\beta}(t)I_{1\alpha}(t)]; \\ \frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{\hat{M}_{эм}(t) - \hat{M}_c(t)}{\hat{J}_\Sigma}, \end{cases}$$

где  $\hat{M}_{эм}(t)$  – оценка электромагнитного момента двигателя, Н·м;

$\hat{M}_c(t)$  – момент сопротивления нагрузки, Н·м;

$\hat{J}_\Sigma$  – оценка суммарного момента инерции, приведенного к валу двигателя, кг·м<sup>2</sup>.

Таблица 4 – Минимальные и максимальные значения параметров АД и результаты их идентификации

Параметр	Минимальное значение	Максимальное значение	Фактическое значение	Оценка	Погрешность, %
$R_1$ , Ом	$10^{-3}$	$10^3$	0,316	0,316001	0,00025
$R'_2$ , Ом	$10^{-3}$	$10^3$	0,31	0,295	4,76
$L_1$ , Гн	$10^{-5}$	10	0,11	0,109	0,0023
$L_2$ , Гн	$10^{-5}$	10	0,111	0,106	4,76
$L_m$ , Гн	$10^{-5}$	10	0,107	0,104	2,41
$J_\Sigma$ , кг·м <sup>2</sup>	$10^{-5}$	$10^2$	0,08	0,09	14,58
$M_{c1}(t)$ , Н·м	0	$10^6$	35,99	32,69	9,14
$M_{c2}(t)$ , Н·м	0	$10^6$	71,97	71,73	0,33

Параметры  $\hat{J}_\Sigma, \hat{M}_{c1}(t), \hat{M}_{c2}(t)$  определялись также по тем же характеристикам. В качестве целевой функции ГА была принята

$$f(\hat{J}_\Sigma, \hat{M}_{c1}, \hat{M}_{c2}) = \frac{\int_0^{t_\Sigma} |\omega(t) - \hat{\omega}(t, \hat{J}_\Sigma, \hat{M}_{c1}, \hat{M}_{c2})| dt}{\int_0^{t_\Sigma} |\omega(t)| dt}$$

Популяция состояла из 50 особей. ГА останавливался при достижении функции пригодности 0,4. В таблице 4 приведены значения параметров АД, их оценки и погрешности оценивания.

Эффективность идентификации параметров АД с применением ГА проверялась экспериментально на лабораторном стенде. Получены переходные характеристики напряжений статора, токов статора и скорости вращения вала двигателя при пуске, набросе, сбросе нагрузки и торможении. Параметры АД, определенные с помощью предложенного метода, сведены в таблице 5.

Таблица 3 – Результаты идентификации параметров ДПТ НВ по опытным данным

Параметр	$R_я$ , Ом	$L_я$ , Гн	$k_е$ , Вб/(А·Ом)	$T_е$ , с	$J_\Sigma$ , кг·м <sup>2</sup>
Оценка	77,697	13,523	0,005	0,017	0,009

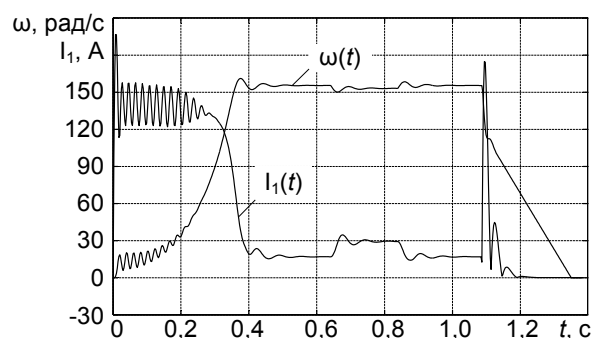


Рисунок 5 – Переходные характеристики АД, используемые для оценивания его параметров

Таблица 5 – Результаты идентификации параметров АД по опытным данным

Параметр	$R_1$ , Ом	$R'_2$ , Ом	$L_1$ , Гн	$L_2$ , Гн	$L_m$ , Гн	$J_\Sigma$ , кг·м <sup>2</sup>	$M_{c1}(t)$ , Н·м	$M_{c2}(t)$ , Н·м
Оценка	46,086	45,699	1,106	0,929	0,924	0,012	0,378	1,541

Оценка точности идентификации проводилась путем сравнения экспериментальных и расчетных, полученных с использованием идентифицированных параметров, переходных характеристик АД. Переходные характеристики АД приведены на рисунке 6.

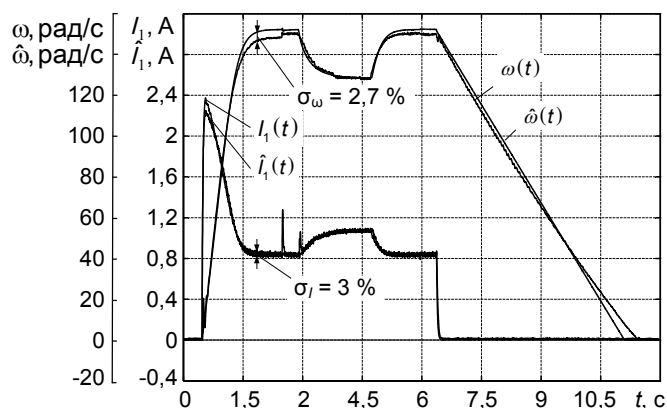


Рисунок 6 – Экспериментальные и расчетные переходные характеристики АД

Относительные интегральные значения модулей невязок фактических и модельных значений скорости вращения вала двигателя и модуля вектора тока статора составили

$$\delta_\omega = \frac{\int_0^{t_\Sigma} |\omega(t) - \hat{\omega}(t)| dt}{\int_0^{t_\Sigma} |\omega(t)| dt} 100\% = 2,42\% ;$$

$$\delta_I = \frac{\int_0^{t_\Sigma} |I_1(t) - \hat{I}_1(t)| dt}{\int_0^{t_\Sigma} |I_1(t)| dt} 100\% = 3,54\% .$$

Относительные отклонения оценок модуля вектора тока статора и скорости вращения вала двигателя от экспериментальных значений в момент времени  $t_1$ :

$$\sigma_\omega = \frac{|\omega(t_1) - \hat{\omega}(t_1)|}{|\omega(t_1)|} 100\% = 2,7\% ;$$

$$\sigma_I = \frac{|I_1(t_1) - \hat{I}_1(t_1)|}{|I_1(t_1)|} 100\% = 3\% .$$

**Заключение.** Разработан метод предварительной идентификации параметров ДПТ и АД по переходным характеристикам и проведено его экспериментальное подтверждение. Метод позволяет определить параметры ДПТ и АД с точностью не более 5%, что делает возможным его применение при проектировании высококачественных электроприводов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Herrera, F. Tackling real-coded genetic algorithms: operators and tools for the behaviour analysis / F. Herrera, M. Lozano, J.L. Verdegay // Artificial Intelligence Review. -1998. -Vol. 12, №4. -P. 265-319.
- Непрерывные генетические алгоритмы – математический аппарат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.basegroup.ru/library/optimization/real\\_coded\\_ga/](http://www.basegroup.ru/library/optimization/real_coded_ga/). - 03.03.2012
- Удут, Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч.3. Электрические машины постоянного тока в системах автоматизированного электропривода: учеб. пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. - Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2007. -152 с.
- Хардле, В. Прикладная непараметрическая регрессия: пер. с англ / В. Хардле. -М.: Мир, 1993. -349 с.
- Удут, Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч.8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учеб. пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. -Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2009. -354 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** параметрическая идентификация, генетический алгоритм  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Ткачук Роман Юрьевич, магистрант ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
 Глазырин Александр Савельевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
 Полищук Владимир Иосифович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»



## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ НА ПОЕЗДОУЧАСТКАХ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

А.С. Вильгельм, А.В. Язов

### ASSESSMENT OF POTENTIAL OF POWER EFFICIENCY OF APPLICATION OF RECUPERATIVE BRAKING ON THE SITES OF THE RAILWAYS

«Omsk state transport university»

A.S. Vilgelm, A.V. Yazov

Important sources of economy of the electric power on the electrified sites of the railways is recuperative braking. Volumes of recuperative electric depend on a large number of factors. In this regard there is a question of the correct assessment of potential of power efficiency of recuperative braking.

*Keywords: recuperative braking, power efficiency, specific expense of the electric power, specific recuperation, imitating modeling, traction calculations*

Важным источником экономии электроэнергии на электрифицированных участках железных дорог является рекуперативное торможение. Объемы рекуперированной электрической энергии зависят от большого количества факторов. В связи с этим встает вопрос о правильной оценке потенциала энергоэффективности рекуперативного торможения.

Одним из важнейших источников экономии электроэнергии на электрифицированных участках железных дорог является рекуперативное торможение. В связи с этим, расширение полигона применения этого вида торможения и повышение эффективности использования энергии рекуперации, является одним из основных направлений технических мероприятий по выполнению норм удельного расхода топливно-энергетических ресурсов.

Объемы рекуперированной электрической энергии и условия ее потребления зависят от большого количества факторов, среди которых: профиль пути, вес и количество поездов на каждом пути, неравномерность тонно-километровой работы в четном и нечетном направлениях участка. Наличие и исправность инверторных преобразователей на тяговых подстанциях полигонов постоянного тока, в особенности на однопутных участках, является важным фактором, от которого зависит эффективность рекуперативного торможения и использования энергии рекуперации.

С учетом многочисленности факторов влияющих на возможные объемы энергии рекуперации на отдельных участках остро встает вопрос о правильной оценке этих объемов для каждого участка с возможностью применения рекуперативного торможения или, другими словами, оценке потенциала энергоэффективности рекуперативного торможения на поездоучастках.

Потенциал энергоэффективности рекуперации на поездоучастке – это разность между расчетным значением реализованной энергии рекуперации и фактическим значением возврата электроэнергии по счетчикам ЭПС, полученным по отчетным данным, в границах рассматриваемого поездоучастка.

Несмотря на действия, предпринимаемые техническими службами по повышению эффективности применения рекуперативного торможения, ОАО «РЖД» серьезно отстает от объемов рекуперации, достигнутых в советское время и объемов рекуперации ЭПС в развитых странах мира. Это говорит о достаточно высокой потенциальной возможности увеличения объемов рекуперации.

Расчет объемов энергии рекуперации целесообразно выполнять посредством имитационного моделирования работы системы тягового электроснабжения. Сегодня для расчёта энергии рекуперации достаточно успешно можно использовать программный комплекс «КОРТЭС», разработанный ОАО «ВНИИЖТ» и утвержденный к использованию Департаментом электрификации и электроснабжения ОАО «РЖД» телеграммой ОАО «РЖД» №3/1429 от 12.04.2006.

Основным критерием выбора участков для оценки потенциала рекуперации является профиль пути. На участках с продольным профилем пути с расчетным подъемом 7-12‰ с крутизной затяжных вредных спусков 5,5‰ и более необходима оценка потенциала рекуперативного торможения.

Остальные участки анализируются по трем параметрам:

- объем расхода электроэнергии на участке (отнесенный к длине участка);
- размер движения на участке (количество пар поездов в сутки);
- удельный перепад высот профиля пути (максимальный перепад высот, отнесенный к длине участка).

Для определения параметров тяговой нагрузки (время хода, расход и рекуперация электроэнергии ЭПС и др.) выполняются тяговые расчеты.

В качестве исходных данных для тяговых расчетов используются следующие данные:

- суточный график исполненного движения и размеры движения по участку для грузового, пассажирского, пригородного движения;
- фактические суточные показатели работы участка (расход и возврат электроэнергии по счетчикам ЭПС и ЭЧЭ, выполненная тонно-километровая работа по участку);
- характеристика действующих схем питания межподстанционных зон;
- параметры оборудования системы тягового электроснабжения;
- параметры участка: продольный профиль и план пути, весовые нормы поездов, действующие на участке ограничения скорости и т.д.;
- установленная техническая и участковая скорости на данном поездоучастке;
- уровни напряжения на токоприемнике ЭПС при движении по данному поездоучастку, которые уточняются в ходе проведения контрольных поездок.

На подготовительном к расчетам этапе, выполняется актуализация всех исходных файлов КОРТЭС, которая включает в себя корректировку параметров плана и профиля пути, ограничений скорости для различных категорий поездов, уровней напряжений на шинах тяговых подстанций, параметров контактной сети, оборудования тяговых подстанций и др. В файл параметров участка вводятся координаты всех отдельных пунктов, в том числе остановочных платформ пригородных электропоездов.

На первом этапе имитационного моделирования необходимо выполнить структурирование данных суточного графика исполненного движения. Поезда, в соответствии с фактическими размерами движения по рассматриваемому участку, разбиваются по виду движения (пассажирское, пригородное, грузовое) и по типу локомотива, с учетом количества секций (ВЛ10, 1,5ВЛ10, ВЛ11, ЧС2 и т.д.).

Кроме того, все грузовые поезда разбиваются по группам в зависимости от массы состава с шагом 1000 т (до 1000 т; 1000-2000 т; 2000-3000 т и т.д.). Среднеарифметические значения масс по каждой полученной группе являются базовыми весами при дальнейшем моделировании.

Предварительные тяговые расчёты производятся при номинальном напряжении в тяговой сети. По результатам тягового расчёта составляется промежуточный расчётный график движения. При вводе заданных размеров движения рассчитываются доли количества поездов каждой категории в графике, а также статистические интервалы между поездами – минимальный, средний и максимальный, которые характеризуют закон их распределения.

Предварительный электрический расчёт выполняется для уточнения уровней напряжения на токоприёмниках ЭПС в функции от пути. Кроме того, на этом этапе проверяется обеспечение пропускной способности по устройствам тягового электроснабжения при задании уровней напряжения на шинах ТПС постоянного тока в диапазоне от 3300 до 3500 В согласно требований пункта 4.41 Правил устройства системы тягового электроснабжения от 04.06.1997 г. №ЦЭ-462.

После окончательного выбора уровней напряжения на шинах ТПС повторно выполняются тяговые расчёты для всех категорий поездов с корректировкой напряжений в контактной сети, которые задаются в режимных картах, используемых в тяговых расчетах.

Такая корректировка уровней напряжения позволяет достичь достаточно высокой схожимости результатов тяговых и электрических расчетов.

Для определения удельных энергетических показателей для каждой категории поездов рассчитывается объем работы, выполненной на участке при заданных размерах движения

$$A_{уч} = \frac{\ell_{уч} \cdot \sum_{i=1}^n m_i}{10^4}, 10^4 \text{ т} \cdot \text{км брутто}, \quad (1)$$

где  $m_i$  – вес  $i$ -го состава, т;

$n$  – суточное количество поездов на рассматриваемом участке;

$\ell_{уч}$  – длина рассматриваемого участка, км.

Суммарная величина суточного потребления энергии всеми поездами на участке определяется как, кВт·ч

$$W_n^{\text{ЭПС}} = \sum_{i=1}^k W_{ni}^{\text{ЭПС}} m_i, \quad (2)$$

где  $W_{ni}^{\text{ЭПС}}$  – потреблено энергии поездом  $i$ -й категории, кВт·ч;  
 $m_i$  – суточное количество поездов  $i$ -й категории на участке;  
 $k$  – количество категорий поездов.

Аналогично определяется величина суммарной энергии рекуперации на участке за сутки.

После выполнения повторных тяговых расчетов составляется новый график движения поездов. На его основе выполняются итоговые электрические расчеты, в результате которых для каждого варианта определяются:

- энергия, потребленная на тягу поездов, по каждой из подстанций и в целом по расчетному участку;
- энергия, возвращенная в сеть выпрямительно-инверторными преобразователями, по каждой из подстанций и в целом по расчетному участку;
- нереализованная энергия рекуперативного торможения из-за превышения напряжения в тяговой сети допустимых значений и вынужденного перехода на реостатное или пневматическое торможение, а также из-за отсутствия приемников электрической энергии (поездов в режиме тяги и приемников на тяговых подстанциях) на участках с небольшими размерами движения;
- потери электроэнергии по результатам расчета в целом по участку.

Расчеты целесообразно производить для следующих вариантов применения рекуперативного торможения и использования энергии рекуперации:

- 1) Применение рекуперативного торможения в размерах, определяемых потреблением энергии рекуперации электровозами в тяговом режиме;
- 2) Применение рекуперативного торможения в размерах, необходимых для обеспечения заданной скорости движения, с преобразованием избыточной энергии рекуперации ВИП тяговых подстанций.

Объем электроэнергии, рекуперированной электроподвижным составом (по счетчикам ЭПС)

$$W_p = W_n^{\text{ЭПС}} - W_m^{\text{ТП}}, \quad \text{кВт·ч}, \quad (3)$$

где  $W_n^{\text{ЭПС}}$  – объем электроэнергии, потребленной всеми поездами на расчетном участке по результатам тяговых расчетов, кВт·ч;

$W_m^{\text{ТП}}$  – объем электроэнергии, расходуемой на тягу поездов по счетчикам тяговых подстанций по результатам электрических расчетов, кВт·ч.

По результатам тяговых и электрических расчетов можно оценить объем нереализованного возврата электрической энергии от рекуперативного торможения, обусловленного срывами рекуперации

$$W_{p,\text{нереал}} = W_{p,a}^{\text{ЭПС}} - W_p, \quad \text{кВт·ч}, \quad (4)$$

где  $W_{p,a}^{\text{ЭПС}}$  – абсолютная энергия рекуперативного торможения по результатам тяговых расчетов, кВт·ч.

Рассчитываются удельный расход электроэнергии и рекуперация на участке:

– для участков постоянного тока

$$\omega = \frac{W_n^{\text{ТП}} - W_u}{A}, \quad \text{кВт·ч}/10^4 \text{ т·км брутто}; \quad (5)$$

– для участков переменного тока

$$\omega = \frac{W_n^{\text{ТП}} - W_{\text{возв}}}{A}, \quad (6)$$

где  $W_n^{\text{ТП}}$  – сальдированный расход на тягу поездов по счетчикам ТП по результатам расчета, кВт·ч;

$W_u, W_{\text{возв}}$  – энергия возвращенная по инверторам (для участков постоянного тока) и возвращенная на высокую сторону тягового трансформатора (для участков переменного тока), кВт·ч;

$A$  – работа выполненная на участке,  $10^4$  т·км брутто.

Удельная рекуперация на участке для участков постоянного и переменного тока

$$w_p = W_p / A, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/10^4 \text{ т}\cdot\text{км} \quad (7)$$

Потенциал рекуперации для участка железной дороги рассчитывается по выражению

$$\Delta P = \left( \frac{W_p}{W_{п.ЭПС}} - \frac{W_{Рф.ЭПС}}{W_{пф.ЭПС}} \right) 100\%, \quad (8)$$

где  $W_{Рф.ЭПС}$  – фактический объем электроэнергии, рекуперированной ЭПС по отчетным данным, кВт·ч;

$W_{пф.ЭПС}$  – фактический объем электроэнергии, потребленной ЭПС по отчетными данным, кВт·ч.

Оценка потенциала энергоэффективности рекуперативного торможения позволяет определить участки полигона постоянного тока для замены на тяговых подстанциях выпрямительных агрегатов на выпрямительно-инверторные преобразователи и установки систем рекуперативного торможения в ходе капитального ремонта на электровозах постоянного и переменного тока, для которых конструкция первоначально не предусматривала использования рекуперативного торможения.

Безусловно, для принятия окончательного решения по внедрению данных мероприятий необходимо проведение технико-экономического обоснования их целесообразности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *рекуперативное торможение, энергоэффективность, удельный расход электроэнергии, удельная рекуперация, имитационное моделирование, тяговые расчеты*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Вильгельм Александр Сергеевич, аспирант ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*

*Язов Александр Викторович, аспирант ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*

## **ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКОВ НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМА СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА РАБОТЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ФИДЕРОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ**

Забайкальский институт железнодорожного транспорта, филиал  
ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей  
сообщения»

**Р.С. Трифонов**

**FEATURES OF DETERMINATION OF CURRENTS OF THE NORMAL MODE OF SYSTEM OF THE THRUST ELECTRICAL SUPPLY FOR OPERATIONAL ANALYSIS OF THE RELAY PROTECTION OF FEEDERS OF THE CONTACT NETWORK**  
Trans-Baikal institute of railway transport, branch «Irkutsk state university of means of communication»

R.S. Trifonov

Analyzed the basic parameters of the choice of settings in normal mode and avarin. The problems of choosing the optimal characteristics of the operation of distance protection cantata feeder network.

*Keywords: distant protection, the relay assembly, a short-circuit current, a phase angle*

Проанализированы основные параметры выбора уставок в нормальных и аварийных режимах. Рассмотрены проблемы выбора оптимальной характеристики срабатывания дистанционной защиты фидеров кантатной сети.

Повышение надежности работы системы тягового электроснабжения невозможно без совершенствования релейной защиты этой системы. Увеличение весовых норм составов и уменьшение межпоездного интервала приводит к увеличению рабочих токов, что в свою очередь приводит к возникновению ситуаций, когда резервные ступени дистанционной защиты фидеров контактной сети зона действия которых жестко определена, не могут быть отстроены от некоторых рабочих режимов.

В связи со сложившейся ситуацией вопрос повышения селективности работы резервных ступеней дистанционной защиты фидеров контактной сети является в настоящее время актуальным.

На сегодняшний день в общепринятой практике расчета уставок микропроцессорной

дистанционной защиты фидеров контактной сети [1] придерживаются следующего подхода:

- определяется значение сопротивления уставки при коротком замыкании  $Z_y^k$ ;
- определяют значение уставки в режиме нагрузки  $Z_y^h$  при фазовом угле  $\varphi_h$  с учетом  $Z_y^k$ ;
- проверяют выбранное значение  $Z_y^h$  по условию отстройки от нормального режима.

Уставка срабатывания резервных ступеней защиты (второй и третьей) выбирается в минимальном режиме энергосистемы по уравнению в соответствии с [1]

$$Z_y^k \geq k_\chi \cdot Z_k,$$

где  $k_\chi$  – коэффициент чувствительности,  $k_\chi = 1,2-1,25$ ;

$Z_k$  – сопротивление при коротком замыкании, Ом.

Проверка по условию отстройки к нормальным режимам производится по выражению:

$$Z_y^h \leq \frac{Z_{h.min}}{K_\chi \cdot K_\epsilon},$$

где  $Z_{h.min}$  – минимальное значение полного сопротивления, Ом;

$K_\chi$  – коэффициент запаса,  $K_\chi = 1,1-1,3$ ;

$K_\epsilon$  – коэффициент возврата,  $K_\epsilon = 1,1-1,15$ .

Минимальное значение полного сопротивления измеряемое защитой определяют по формуле:

$$Z_{h.min} = \frac{U_{h.min}}{I_{h.max}},$$

где  $U_{h.min}$  – минимальное напряжение в тяговой сети, В;

$I_{h.max}$  – максимальный ток нагрузки фидера тяговой сети, А.

Максимальное значение тока фидера тяговой подстанции определяется на основании:

$$I_{h.max} = I_{эм.тр} + \frac{I_{эм}(n_{э,эм} - 1) + I_{эп}(n_э - n_{э,эм})}{k},$$

где  $I_{h.max}$  – максимальный ток фидера, А;

$I_{эм.тр}$  – ток трогания поезда максимальной массы, А;

$I_{эм}$  – средний ток грузового поезда максимальной массы, А;

$I_{эп}$  – средний ток грузового поезда расчетной массы, А;

$n_{э,эм}$  – расчетное число поездов максимальной массы в расчетной зоне на одном пути;

$n_э$  – расчетное число поездов в расчетной зоне на одном пути;

$k$  – коэффициент, равный единице при одностороннем питании и равный двум при двухстороннем питании контактной сети.

Из уравнения для определения максимального тока фидера видно, что он зависит от типа используемого ЭПС, массы и количества составов, профиля пути. Фазовый угол  $\varphi_h$  при этом находится в диапазоне от  $32^\circ$  до  $40^\circ$ , ток нагрузки фидера лежит в диапазоне от 300 до 1200 А, а значение напряжения в соответствии с [2] в пределах от 21 до 29 кВ.

С учетом перечисленных изменений основных номинальных параметров минимальное значение сопротивления нагрузки колеблется в пределах, представленных на рисунке 1.

В системе тягового электроснабжения дистанционная защита выполняется трехступенчатой, дополненной токовой отсеч-

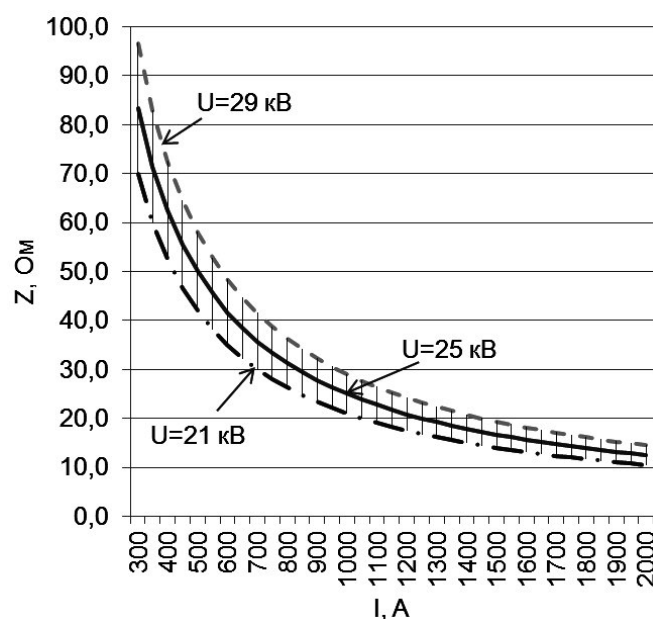


Рисунок 1 – Изменение полного сопротивления нагрузки в зависимости от величины тока нагрузки

кой. При этом вторая ступень резервирует первую, а третья, соответственно, вторую и первую как это показано на рисунке 2.

Диапазон уставок по полному сопротивлению резервных ступеней дистанционной защиты для микропроцессорных терминалов колеблется в следующих пределах:

- для второй ступени (НДЗ-2) от 10 до 60 Ом;
- для третьей ступени (НДЗ-3) от 25 до 140 Ом.

Диапазон уставок по фазовому углу нагрузки для микропроцессорных терминалов лежит в пределах от 0° до 60°.

Анализируя изменение полного сопротивления нагрузки в зависимости от величины тока нагрузки (см. рисунок 1), можно увидеть что, начиная со значения тока нагрузки в 500 А и далее сопротивление уменьшается и по значениям может попасть в зону срабатывания защиты. Ток в 500 А соответствует масса состава примерно в 4000 т. При этом весовые нормы, установленные на сегодняшний момент, составляют 6300 т, что соответствует максимальному рабочему току примерно в 850 А. Дальнейшее увеличение весовых норм приведет к росту тока и как следствие уменьшению значения сопротивления, измеряемого защитой и к сжиманию характеристики срабатывания резервных ступеней дистанционной защиты с целью обеспечения отстройки от нормального режима.

Значение сопротивления измеряемого защитой при коротком замыкании находится в пределах от 12 до 75 Ом [3], а фазовый угол короткого замыкания лежит в диапазоне от 55° до 90° [3]. Указанные параметры приведены для металлического короткого замыкания, то есть без учета сопротивления дуги, возникающей при коротком замыкании. Сопротивление дуги изменяется в широких пределах от 10 до 100 Ом, следовательно характеристику срабатывания необходимо расширять для более полного охвата возможных режимов короткого замыкания.

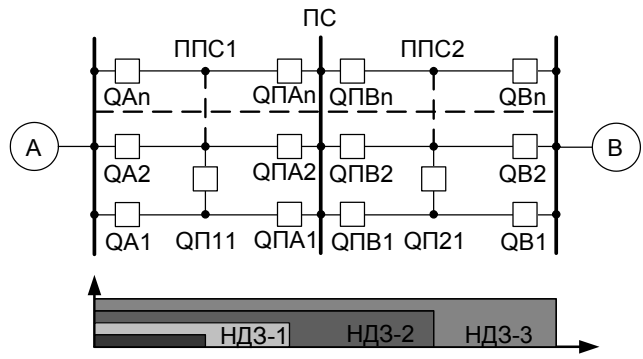


Рисунок 2 – График селективности 3-х ступенчатой дистанционной защиты

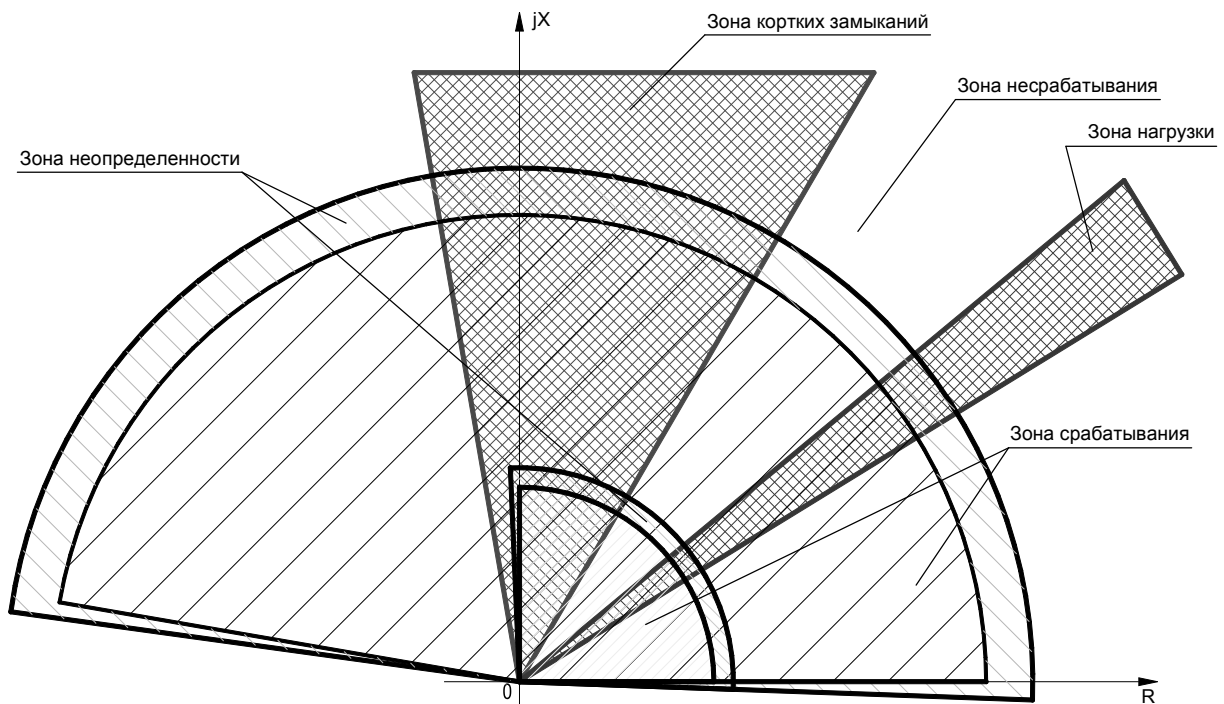


Рисунок 3 – Общий вид характеристики срабатывания микропроцессорной дистанционной защиты фидеров канатной сети ЦЗА-ФКС-27,5

При выборе уставки приходится искать баланс между двумя разнонаправленными задачами: обеспечения требуемой зоны охвата защитой при коротких замыканиях и отстройки

от нормальных режимов работы. Когда данные условия вступают в противоречия, вопрос обычно решается в пользу обеспечения зоны действия защиты к аварийным режимам, что приводит к ухудшению отстройки от максимальных нормальных режимов.

Решение задачи обеспечения требуемой зоны охвата защитой при коротких замыканиях и отстройки от нормальных режимов работы на первоначальных этапах привело к появлению направленной круговой характеристики сдвинутой относительно начала координат в I и II четверти комплексной плоскости. Дальнейшим развитием стало появление эллиптической характеристики позволившей добиться приемлемых показателей в работе, эти характеристики были реализованы на аналоговой и полупроводниковой элементной базе. Появление микропроцессорных терминалов защит ознаменовало следующий этап развития элементной базы релейной защиты и позволило реализовать прямоугольные характеристики и комбинированные характеристики с зависимостью от фазового угла. Однако все более усложняющийся вид характеристики срабатывания и возможность ее тонкой настройки не решила поставленную задачу.

Таким образом, используемый в настоящее время принцип построения дистанционной защиты не позволяет одновременно удовлетворить обоим перечисленным условиям. Поэтому принципиальное решение данного вопроса возможно только посредством совершенствования самого алгоритма работы защиты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Руководящие указания по релейной защите систем тягового электроснабжения: ЦЭТ-23. -М.: Департамент электрификации и электроснабжения ОАО «РЖД», 2004. -251 с.
- 2 Правила устройств системы тягового электроснабжения железных дорог: РФ ЦЭ-462. -М.: МПС, 1997. -78 с.
- 3 Фигурнов, Е.П. Релейная защита сетей тягового электроснабжения переменного тока: учеб. пособие для студентов ВУЗов ж.-д. трансп. / Е.П. Фигурнов, Ю.И. Жарков, Т.Е. Петрова; под ред. Е.П. Фигурнова. -М.: Маршрут, 2006. -272 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** дистанционная защита, реле, фидер, характеристика срабатывания  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Трифонов Руслан Сергеевич, ассистент ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 672040, г. Чита, ул. Магистральная, 11, ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ КОРТКИХ ЗАМЫКАНИЙ НА БЛОКАХ ЛИНИЯ-ТРАНСФОРМАТОР**

**ЗАО «Е4-СибКОТЭС»  
ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»**

**Е.И. Фролова, В.Е. Глазырин**

**APPLYING OF PHASE-TO-PHASE DISTANCE RELAYS ON THE LINE-TRANSFORMER UNITS  
«E4-SibCOTES»  
«Novosibirsk state technical university»  
E.I. Frolova, V.E. Glazirin**

The methods of realization of modern phase-to-phase distance protection according to protected network section scheme and functions of relays protection terminal are considered.

*Keywords: line-transformer unit, cable line, distance relays*

Рассмотрены способы выполнения современной дистанционной защиты от междуфазных коротких замыканий в зависимости от схемы защищаемого участка сети и реализованных функций используемого терминала защит.

В связи с высоким процентом электроустановок, отработавших 25 лет и более, повсеместно ведутся работы по реконструкции и техническому перевооружению объектов энергетики. На смену старому оборудованию приходят новые, удобные в обслуживании и надежные в эксплуатации устройства электроэнергетических сетей (ЭЭС).

В настоящее время, в силу существенных преимуществ, широко внедряются комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией (КРУЭ), и осуществляется массовый перевод городских воздушных линий электропередачи (ВЛ) на кабельные линии (КЛ) с преимущественным применением кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ-изоляция).

Применение КРУЭ получило широкое распространение в связи с тем, что они занимают

около 5% площади подстанции (ПС). Это значительно меньше, если сравнивать с комплектными устройствами, имеющими воздушную изоляцию, а также имеют такие преимущества как более высокую эксплуатационную безопасность, повышенную надёжность, меньшее время монтажа и т.д. Перевод ВЛ на кабельное исполнение с СПЭ-изоляцией активно осуществляется в связи с тем, что в этих кабелях отсутствуют жидкие компоненты, снижены эксплуатационные затраты, повышена пропускная способность, а также снижена трудоёмкость монтажа. В то же время, наряду с указанными преимуществами, КРУЭ и кабели с СПЭ-изоляцией предъявляют повышенные требования по ограничению длительности протекания через них токов повреждения, то есть к селективности, чувствительности и быстрдействию устройств релейной защиты (УРЗ).

В соответствии с требованиями завода-изготовителя внутренние короткие замыкания (КЗ) в КРУЭ, сопровождающиеся токами, близкими по величине к номинальному току отключения должны отключаться за время не более 0,1 с, для более низких токов допускается проводить отключение за время не более 0,2 с. Невыполнение этого требования может приводить к прожигу оболочки КРУЭ. Кроме того, из-за повышения давления в повреждённом отсеке может сработать разрывной предохранительный диск, что вызывает снижение давления элегаза ниже уровня допустимого при эксплуатации. В этом случае дальнейшее развитие аварии при повторном зажигании дуги и время прожигания оболочки не предсказуемы.

Для КЛ с СПЭ-изоляцией также предъявляются требования по предельно допустимой температуре, что жёстко регламентирует время срабатывания защит, обеспечивающих близкое резервирование.

Таким образом, надёжная и бесперебойная работа ЭЭС должна обеспечиваться сочетанием правильного функционирования первичного оборудования и релейной защиты. Одной из составляющей обеспечения устойчивой работы ЭЭС в аварийных условиях является корректная работа УРЗ, которая в свою очередь зависит не только от аппаратной надёжности, но и от правильной настройки, то есть от грамотного выбора уставок срабатывания и параметрирования. Следует отметить, что в настоящее время широкое распространение получили многофункциональные микропроцессорные УРЗ, которые по сравнению с защитами, выполненными на аналоговой элементной базе имеют существенно большие возможности для реализации сложных характеристик измерительных органов и алгоритмов работы защит. В то же время методические указания, которыми руководствуются проектные и эксплуатирующие организации, разработаны для УРЗ, выполненных на традиционных принципах, и не учитывают ни изменившихся требований к защитами, ни особенностей и возможностей современных защит. Всё это может приводить (а зачастую и приводит) к неселективным срабатываниям или недостаточной чувствительности, возникающим из-за неэффективного использования современных защит. Поскольку требования нормативной технической документации к защите рассматриваемых объектов неоднозначны, вопрос правильного выбора параметров срабатывания УРЗ является важным и актуальным. В данной статье анализируется подход к выбору параметров срабатывания УРЗ тупиковых линий 110-220 кВ, который не нашел отражения в методических указаниях по расчёту уставок.

Рассмотрим варианты выполнения защиты блоков линия-трансформатор.

На рисунке 1а представлена типовая схема распределительного устройства (РУ) 110 кВ №4Н: «два блока линия-трансформатор с выключателями в цепях трансформаторов и неавтоматической перемычкой со стороны линии» [3], с применением элегазовых модулей PASS-110 кВ и жесткой ошиновкой.

На рисунке 1б показана схема электроснабжения промышленного предприятия со сложным непрерывным длительно восстанавливаемым технологическим процессом, где силовые трансформаторы главных понизительных подстанций (ГПП) подключены по радиальным схемам, то есть подключение силовых понизительных трансформаторов выполнено от независимых источников внешней электрической сети через ЗРУ 220 кВ. К данной схеме предъявляются повышенные требования по надёжности электроснабжения, так как для таких ПС характерен следующий состав нагрузки: 80% электроприемников I категории и по 10% электроприемников II и III категории.

На рисунке 1в приведена типовая схема №110-4 «два блока с отделителями и неавтоматической перемычкой со стороны линии» [3].

В схемах на рисунке 1а и 1б питающие линии выполнены одножильными кабелями с СПЭ-изоляцией длина, которых варьируется от 1,5 до 4,5 км.

Согласно [1, 2] на линиях 110-220 кВ с односторонним питанием используются два ком-



плекта ступенчатых защит (КСЗ), каждый из которых включает:

- токовую (если удовлетворяется требование селективности) или дистанционную защиту (ДЗ) от многофазных КЗ;
- токовую направленную или ненаправленную защиту от КЗ на землю (ТЗНП).

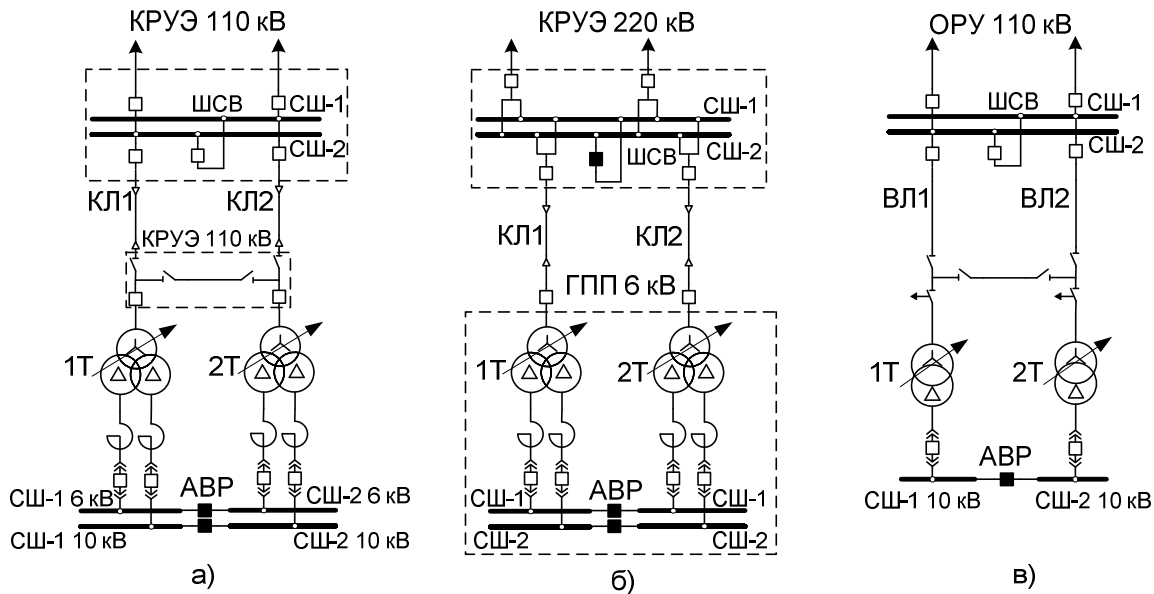


Рисунок 1 – Принципиальные электрические схемы распределительных устройств 110-220 кВ: а)-схема №110-4Н «два блока линия-трансформатор с выключателями в цепях трансформаторов и неавтоматической перемычкой со стороны линии»; б)-две рабочие системы сборных шин; в)-схема №110-4 «два блока с отделителями и неавтоматической перемычкой со стороны линии»

Для защиты линий в таких схемах применяются терминалы, в которых реализованы описанные функции. Здесь рассматривается определение параметров срабатывания ДЗ только от междуфазных КЗ, поскольку функции защиты от КЗ с участием земли выполняют ТЗНП. Одной из проблем выбора уставок для существующих терминалов защит является то, что на них часто оказывается невозможным выставить необходимое сопротивление срабатывания первой ступени ДЗ для короткой КЛ (удельное сопротивление ВЛ в среднем составляет 0,4 Ом/км, а КЛ 0,16-0,2 Ом/км).

Для начала обратимся к нормативной литературе. Согласно [4] на конечных участках радиальной распределительной сети рекомендуется применять двухступенчатую защиту от междуфазных КЗ. При этом сопротивление срабатывания первой ступени ДЗ в целях повышения чувствительности предлагается выбирать из условий отстройки от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС, примыкающей к противоположному концу линии. То есть выполнять неселективную защиту без выдержки времени (ВВ). Таким образом, мертвая зона в пределах защищаемой линии отсутствует. Неселективное действие первой ступени ДЗ линии при КЗ в трансформаторе или ошиновке исправляется с помощью автоматического повторного включения (АПВ) линии: защита трансформатора передает сигнал на отключение выключателя линии по каналам телемеханики (или на отключение короткозамыкателя трансформатора), а затем во время паузы АПВ отключается отделитель трансформатора. Такой способ выполнения защиты характерен для схемы на рисунке 1в с использованием панелей ЭПЗ.

В качестве примера рассмотрим расчёт ДЗ, выполненной на базе терминала серии SIPROTEC фирмы Siemens для схемы (рисунок 1в). Данная ДЗ имеет пять независимых направленных ступеней с характеристиками срабатывания в виде параллелограммов. Параметры каждого параллелограмма задаются отрезками на осях  $R$  и  $X$ , углом наклона  $\varphi_n$  и сектором нагрузки с параметрами  $R_{нагр}$  и  $\varphi_{нагр}$ .

Первичное сопротивление срабатывания первой ступени ДЗ определяется по условию отстройки от КЗ на шинах ПС, примыкающей к противоположному концу линии

$$Z'_{с.з.} = k_{отс} Z_n, \quad (1)$$

где  $k_{отс}$  – коэффициент отстройки,  $k_{отс} = 0,85$ ;

$Z_{л}$  – сопротивление защищаемой линии.

Ступень выполняется с пуском АПВ и  $t_{cp} = 0$  с.

Параметры срабатывания второй ступени ДЗ выбираются из условия обеспечения необходимого минимального коэффициента чувствительности при металлическом КЗ в конце защищаемой линии

$$Z_{с.з.}^{II} = k_{\chi} Z_{л}, \quad (2)$$

где  $k_{\chi}$  – коэффициент чувствительности,  $k_{\chi} = 1,25$ .

Вторая ступень также выполняется с пуском АПВ и  $t_{cp} = 0,05-0,3$  с.

Третья ступень ДЗ отстраивается от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС, примыкающей к противоположному концу линии с запретом АПВ и  $t_{cp} = 0,05-0,3$  с

$$Z_{с.з.}^{III} = k_{отс} (Z_{л} + Z_{тр.мин}), \quad (3)$$

где  $Z_{тр.мин}$  – наименьшее сопротивление трансформатора, которое имеет место при регулировании напряжения изменением его коэффициента трансформации.

Параметры срабатывания четвертой ступени ДЗ определяются по условию обеспечения коэффициента чувствительности к КЗ на шинах низшего напряжения противоположной ПС

$$Z_{с.з.}^{IV} = k_{\chi} (Z_{л} + Z_{тр.макс}), \quad (4)$$

где  $k_{\chi}$  – коэффициент чувствительности,  $k_{\chi} = 1,2$ ;

$Z_{тр.макс}$  – наибольшее сопротивление трансформатора, которое имеет место при регулировании напряжения изменением его коэффициента трансформации.

Ступень, обеспечивающая дальнейшее резервирование, выполняется с запретом АПВ, а ВВ выбирается по условию согласования с защитой ввода НН(СН).

Пятая ступень ДЗ выполняет функцию пускового органа и её параметры срабатывания определяются по условию обеспечения необходимого запаса чувствительности по отношению к измерительным дистанционным органам.

Теперь рассмотрим выбор параметров срабатывания ДЗ для защиты питающих линий схем рисунок 1а и 1б.

При защите оборудования рассматриваемых схем необходимо учесть требования, предъявляемые к КЛ по условию предельно-допустимой температуры жилы кабеля при протекании по нему тока КЗ, который должен быть отключен с наименьшей возможной ВВ и не допускать действия АПВ в случае внутреннего повреждения КРУЭ.

На основании изложенного и с учетом требований, предъявляемых к защите КЛ (согласно [2] на кабельных и кабельно-воздушных линиях должны устанавливаться две основные быстродействующие защиты), предложено в качестве защиты КЛ применять терминалы дифференциальной токовой продольной защиты линии (ДЗЛ) с использованием цифровых каналов связи, которые обеспечивают быстродействующую селективную защиту данных линий. При этом не потребуется исправлять неселективное действие одной из ступеней ДЗ применением АПВ линии, так как КЗ в трансформаторе и КЗ в линии будут четко выявляться своими защитами с абсолютной селективностью.

Таким образом, для защиты оборудования схемы на рисунке 1б были применены терминалы защит производства фирмы ABB RED\_670, реализующие функцию ДЗЛ и КСЗ (согласно [2] в терминале ДЗЛ должен быть предусмотрен КСЗ). ДЗ в RED\_670 представляет собой защиту от многофазных КЗ с возможностью осуществления пяти независимых ступеней и с дополнительными средствами отстройки от нагрузочного режима.

С учётом того, что в качестве основной защиты КЛ приняты ДЗЛ и КСЗ, параметры срабатывания ступеней ДЗ должны выбираться следующим образом:

Первичное сопротивление срабатывание первой ступени ДЗ определяется по выражению (1) из условия отстройки от металлического КЗ на шинах ПС, примыкающей к противоположному концу линии. Ступень выполняется с запретом АПВ и  $t_{cp} = 0$  с.

Сопротивление срабатывания второй ступени ДЗ рассчитывается из условия отстройки от КЗ за понижающими трансформаторами согласно выражению (3). Вторая ступень также выполняется с запретом АПВ и  $t_{cp} = 0,3$  с.

Третья ступень выполняет функцию дальнего резервирования. Уставка реле сопротивления третьей ступени определяется по выражению (4), исходя из требований достаточной

чувствительности при КЗ в конце смежного участка. Ступень выполняется с запретом АПВ, а ВВ выбирается по условию согласования с максимальной токовой защитой на высокой стороне (МТЗ ВН) трансформатора.

Защита КЛ по схеме рисунок 1а выполняется на базе терминалов защит производства НПП «ЭКРА», выполняющих функции КСЗ. В этих терминалах реализована трехступенчатая ДЗ с характеристикой срабатывания реле сопротивления в виде параллелограмма с независимым заданием уставок по осям  $R$  и  $X$ . Предварительный расчет параметров срабатывания ДЗ показал, что применяемые терминалы для защиты КЛ не позволяют выставить уставки срабатывания первой ступени ДЗ, выбранные по выражению (1). Поэтому защита КЛ должна быть выполнена в виде двухступенчатой ДЗ с неселективной первой ступенью. Неселективное действие первой ступени ДЗ исправляется АПВ линии после передачи разрешающего сигнала, который подтверждает срабатывание защит трансформатора. Такое выполнение защиты КЛ позволяет выполнить требование производителя КРУЭ о запрете АПВ при КЗ внутри распределительного устройства. В этом случае первая ступень ДЗ без ВВ рассчитывается по выражению (3) из условия отстройки от КЗ за трансформатором противоположной ПС. Уставка реле сопротивления второй ступени определяется по выражению (4), исходя из требований достаточной чувствительности при КЗ в конце смежного участка. ВВ ступени согласовывается с МТЗ ВН трансформатора.

**Выводы.** Подход к выбору параметров срабатывания ДЗ для КЛ и, особенно, при наличии КРУЭ не является однозначным.

При выборе способа и применяемых аппаратных средств защиты необходимо учитывать требования не только нормативно-технических актов, но и требования к установленному на объекте защиты оборудованию.

Для выполнения всех требований к защите использование УРЗ от одного производителя может быть недостаточным и необходима разработка методов и средств для сопоставления разнотипных защит.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Правила устройств электроустановок. -7-е изд. -М.: Энергоатомиздат, 2002.
- 2 СТО «Нормы технологического проектирования ВЛ» и «Нормы технологического проектирования ПС»: приказ от 13 апр. 2009 г. №136.
- 3 Схемы принципиальные электрические распределительных устройств напряжением 6-750 кВ подстанций. Альбом 1: материалы для проектирования 407-03-456.87 / Минэнерго СССР, ВГПИ и НИИ «Энергосетьпроект». -1987. -74 с.
- 4 Руководящие указания по релейной защите. Вып. 7. Дистанционная защита линий 35-330 кВ. -М.: Энергия, 1966. -172 с.: с черт.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** блок линия-трансформатор, кабельная линия, дистанционная защита  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Фролова Екатерина Игоревна, ведущий инженер ЗАО «Е4-СибКОТЭС»  
 Глазырин Владимир Евлампиевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630032, г. Новосибирск, ул. Планировочная, 18/1, ЗАО «Е4-СибКОТЭС»  
 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

## МЕТОДИКА РАСЧЁТА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ МНОГОЦЕПНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет»

**А.С. Ведерников, В.Г. Гольдштейн, Е.М. Шишков**

### A METHOD FOR CALCULATION OF STEADY-STATE CONDITIONS OF MULTICIRCUIT OVERHEAD POWER TRANSMISSION LINES

«Samara state technical university»  
 A.S. Vedernikov, V.G. Goldshtein, E.M. Shishkov

The features of multicircuit overhead power transmission in the calculation of steady-state conditions are considered. The method taking into account the asymmetry of the primary parameters of the line for calculation of steady-state conditions in phase coordinates is proposed.

*Keywords: multicircuit overhead power transmission line, steady-state condition, asymmetry, mathematical model*

Рассмотрены особенности многоцепных линий электропередачи в расчётах установившихся режимов. Предложена методика расчёта установившегося режима в фазных координатах, учитывающая несимметрию первичных параметров линии.

В современных условиях развития электрических сетей крупных городов всё более широкое применение получают схемы глубокого ввода. Возникающие при проектировании таких схем ограничения на использование территории для строительства обуславливают использование специфичных конструкций многоцепных воздушных линий (МВЛ), когда на траверсах одной промежуточной опоры подвешиваются проводники двух и более цепей разных классов напряжения. Проведённые исследования показали, что в ряде случаев применение таких конструкций, получивших название компактно-комбинированных линий электропередачи, позволяет снизить суммарное электромагнитное влияние в сравнении с традиционными одно- и двухцепными ЛЭП. Возможные варианты конструкции промежуточных опор МВЛ с числом цепей, равным четырём, представлены на рисунке 1.

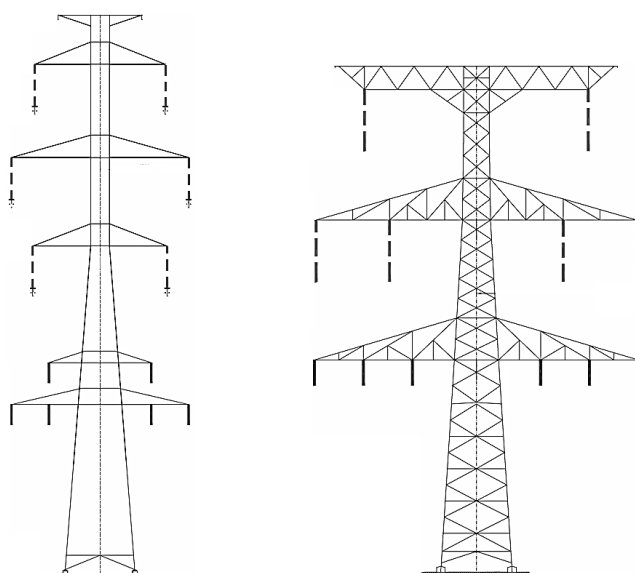


Рисунок 1 – Конструкции промежуточных опор четырёхцепных воздушных линий  $2 \times 400$  кВ (---) +  $2 \times 110$  кВ (—)

Специфику МВЛ и электромагнитных процессов в них, во многом определяет компактность конструкции, то есть малые расстояния между всеми фазными проводниками и тросами цепей. Физическим отражением этого являются значительные электромагнитные взаимные связи цепей (ВСЦ), их фазных проводников и грозозащитных тросов. Таким образом, даже применение транспозиции и расположение фаз одной цепи по вершинам правильного треугольника не позволяют создать равномерной картины магнитного поля вокруг проводников МВЛ. С точки зрения трехфазного построения технологий, оборудования и режимов в электрических системах это определяет их несимметрию по внутренним параметрам и параметрам режимов, значительно более сложную в сравнении с одноцепными ВЛ и требующую рассмотрения их режимов в фазных координатах.

Однако, в подавляющем большинстве случаев при моделировании процессов в трехфазных объектах и составленных из них комплексах (что и представляют собой МВЛ) традиционным и общепринятым является допущение о симметрии. Его с целью упрощения определения параметров режимов электрических сетей используют практически все методы расчета и большинство программных комплексов анализа установившихся и разнообразных неустановившихся режимов (вплоть до кратковременных импульсных).

Так, например, в общеизвестном методе симметричных составляющих для расчета параметров несимметричных трехфазных режимов исходные данные, математические модели и результаты формируются на основе однофазного представления по гипотетическим симметричным эквивалентным схемам замещения конкретных последовательностей. Для остальных фаз принимается симметричный сдвиг фазных векторов на  $120^\circ$ - $360^\circ$  и идентичность процессов.

При широком применении современных средств оценки параметров режимов и учета электроэнергии для МВЛ все более очевидна несостоятельность допущений о симметрии и пренебрежении в ряде случаев ВСЦ, что подтверждается многочисленными данными теоретических исследований и эксплуатации.

Сложности применения метода фазных координат связаны с учетом взаимоиндуктивных влияний разных фаз друг на друга в трансформаторах и линиях. Известный метод развязки магнитосвязанных цепей [1] при практической реализации в программных средствах сталкивается с рядом затруднений, которые ограничивают его применение.

Общепризнанным подходом в решении практических задач анализа режимов в электрических сетях является использование в качестве основополагающей концепции математическое описание соответствующих физических процессов с помощью уравнений Максвелла для электромагнитных полей. Возникающие при этом методические проблемы решаются с помощью рекомендаций, данных в фундаментальной работе Г.А. Гринберга [2].

В значительном большинстве случаев их общая идея это – переход от так называемой

«полевой» постановки задачи к реализации соответствующих «эквивалентных» электрических схем. При этом определение параметров этих схем производится с помощью приближенных интегральных решений соответствующей части «полевой» задачи. Каждый элемент такой схемы является условным способом учета частных случаев существования «материи» – электромагнитного поля. Например, для проводов многопроводной линии электропередачи электрического поля в виде емкостей и магнитного – в виде индуктивностей. Или преобразования энергии электромагнитного поля в тепло – в виде активного сопротивления.

В процессе анализа установившихся режимов электротехнических систем используется известный подход [4], позволяющий уменьшить погрешности моделирования линий электропередачи, как объектов с распределенными параметрами. В многоцепной воздушной линии, как в объекте с распределенными параметрами, единый электромагнитный процесс квазистационарного установившегося режима состоит из взаимосвязанных «продольного» электромагнитного и «поперечного» электростатического процессов. В предложенной модели, представленной обобщенной многопроводной схемой замещения с сосредоточенными параметрами, они приближенно отображаются в виде объединения продольных и поперечных парциальных схем, сформированных отдельно.

В теоретической электротехнике [4] при построении приближенных моделей названные процессы рассматриваются отдельно, последовательно друг за другом, но в различном порядке. Это позволяет построить известные «Г» и «Г» – образные схемы замещения, которые, в основном, используются для моделирования установившихся режимов работы трансформаторов.

Для построения многопроводной схемы замещения в виде, общепринятом в расчетах установившихся режимов для несимметричной МВЛ с числом цепей, равным  $m$ , необходимо принять следующие определенные условия и весьма существенные допущения [3].

1 Многоцепная линия с количеством фазных проводников от 6 до  $3m$  и с числом заземленных или незаземленных грозозащитных тросов от 0 до  $k$  может быть представлена в виде  $n$ -полюсной многопроводной схемы замещения, изображенной на рисунке 2.

2 Электромагнитная связь между проводами и цепями двухцепной воздушной линии приближенно учитывается значениями взаимных индуктивностей и емкостей.

3 Учет собственных емкостей фаз цепей и емкостей взаимной связи производится по общим традиционным принципам расчета установившихся режимов [4], то есть при построении расчетной эквивалентной схемы замещения поперечные емкости (фазные на землю, междуфазные и междуцепные) задаются половинными значениями по концам МВЛ.

4 Параметры режима по цепям, могут отличаться, как по величине, так и по направлению, поэтому в соответствующих узлах МВЛ задаются трехфазные равные или неравные по величине и фазовым сдвигам системы напряжений и токов на общих шинах или отдельно по цепям.



Рисунок 2 – Модель МВЛ в виде обобщенной многопроводной схемы замещения

Анализ показывает, что применение Z-формы схемы замещения в расчетах установившихся режимов позволяет естественным образом, в виде падений напряжения, учитывать взаимные индуктивные (продольные) процессы.

Расчет установившегося режима в МВЛ будет состоять из следующих позиций:

1 Формирование эквивалентной многопроводной схемы замещения для МВЛ.

2 Определение элементов матриц собственных и взаимных продольных сопротивлений  $Z$ , а также матрицы емкостных коэффициентов  $B$ .

3 Составление и последовательное применение уравнений Максвелла, Ома и Кирхгофа для отдельных частей и всей многопроводной схемы многоцепной линии.

Будем считать, что сформированы матрицы параметров МВЛ  $Z$  и  $B$ . Кроме того, заданы параметры режима в виде комплексных векторов напряжения  $U_H$  и токов  $I_H$  в начале МВЛ и необходимо определить  $U_K, I_K$  в конце МВЛ. Тогда собственно задача расчета установившегося режима для МВЛ реализуется следующей алгоритмической последовательностью действий.

1 Используя закон Ома, определяется по левой поперечной части многопроводной схемы вектор емкостных токов в следующем виде

$$i_{cH} = \frac{j \cdot \omega \cdot B \cdot U_H}{2},$$

где  $B$  – матрица емкостных коэффициентов МВЛ;

$\omega$  – частота.

2 С учетом вектора токов  $i_{cH}$  по первому закону Кирхгофа, определяется вектор токов  $i_\Pi$  в продольной части МСЗ

$$i_\Pi = I_H - i_{cH}.$$

3 Далее для продольной части схемы записывается по закону Ома уравнение её состояния для вектора  $\Delta \dot{U}$  падений напряжений от протекания токов ветвей  $i_\Pi$  в виде

$$\Delta \dot{U} = Z \cdot i_\Pi.$$

где  $Z$  – матрица собственных и взаимных продольных активно-индуктивных сопротивлений.

4 Теперь можно определить вектор напряжений  $\dot{U}_K$  в конце многоцепной воздушной линии

$$\dot{U}_K = \dot{U}_H - \Delta \dot{U}.$$

5 По аналогии с пунктом (1) для правой поперечной части схемы замещения определяется вектор емкостных токов  $i_{cK}$  в виде

$$i_{cK} = \frac{j \cdot \omega \cdot B \cdot \dot{U}_K}{2}.$$

6 Окончательно определяется вектор токов  $i_K$  в узле конца  $K$  многопроводной схемы

$$i_K = i_\Pi - i_{cK}.$$

Таким образом, результаты расчёта режима по предложенной методике при условии наличия исходных данных необходимой точности позволяют учесть несимметрию первичных параметров, обусловленную особенностями конструкции МВЛ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Вайнштейн, Л.М. О возможности замены схем со взаимной индукцией эквивалентными без взаимной индукции / Л.М. Вайнштейн, Н.А. Мельников // Электричество. -1965. -№5. -С. 16-18.
- 2 Гринберг, Г.А. Избранные вопросы математической теории электрических и магнитных явлений / Г.А. Гринберг. -М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948. -727 с.
- 3 Взаимовлияние двухцепных воздушных линий и их воздействие на режим электрических систем / М.Ш. Мисриханов [и др.] // Электр. станции. -2001. -№2.
- 4 Теоретические основы электротехники. Т.2 / К.С. Демирчян [и др.]. -Изд. 4-е, доп. -СПб.: Питер, 2006. -575 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** многоцепная воздушная линия электропередачи, установившийся режим, несимметрия, математическая модель

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Ведерников Александр Сергеевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СамГТУ»  
Гольдштейн Валерий Геннадьевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СамГТУ»  
Шишков Евгений Михайлович, ассистент ФГБОУ ВПО «СамГТУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, ФГБОУ ВПО «СамГТУ»

## АНАЛИЗ УРОВНЕЙ НЕСИММЕТРИИ И ОТКЛОНЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ В ПРОТЯЖЕННОЙ СЕТИ ПРИ ПИТАНИИ ТЯГОВОЙ НАГРУЗКИ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Б.А. Анохин

ANALYSIS OF VOLTAGE UNBALANCE AND VOLTAGE DEVIATIONS IN THE EXTENDED NETWORK SUPPLYING TRACTION LOAD

«Novosibirsk state technical university»

B.A. Anokhin

Based on the matrix model of the extended network in phase coordinates it is analysed voltage unbalance and voltage deviations by example of the Baikal-Amur railroad external power supply.

Keywords: double-circuit overhead line, location of the phases, equations in phase coordinates

На основе матричной модели протяженной сети в фазных координатах выполнен анализ уровней несимметрии и отклонений напряжения на примере сети внешнего электроснабжения Байкало-Амурской магистрали.

Для протяженных сетей, питающих тяговую нагрузку, характерны значительные отклонения напряжений и уровни несимметрии напряжений, вызванные неполнофазными нагрузками от электротяги. Характерным примером такой протяженной сети является система внешнего электроснабжения (СВЭ) Байкало-Амурской магистрали (БАМ), изображенная на рисунке 1

Расчет установившихся режимов таких сетей в однолинейной постановке невозможен, в силу существенного различия режимных параметров по фазам, в связи с этим достаточно удобным и наглядным является матричный метод расчета в фазных координатах. Каждый элемент сети представляется в виде многополюсника. Для записи уравнений многополюсников используется матричная форма записи. Получаемые матричные выражения аналогичны известным из теории четырехполюсников выражениям, в которых вместо чисел употребляются матрицы  $n$ -го порядка. Такая аналогия облегчает анализ свойств многополюсника [1-4]. Кроме того, при матричной форме записи уравнений многополюсников облегчается применение ЭВМ для решения этих уравнений.

Протяженные сети, питающие тяговую нагрузку, преимущественно состоят из узловых и промежуточных подстанций, соединенных между собой двухцепными и одноцепными линиями. Для такой структуры сети достаточно просто составить матричную модель и рассчитать режимные параметры.

Для каждого отдельного элемента сети (трансформаторы, линии, компенсирующие устройства, потребители в виде нагрузки), зная продольные сопротивления и поперечные проводимости, составляются уравнения в фазных координатах в виде:

$$\begin{cases} U_{on} = A_n U_{\Gamma n} + B_n I_{\Gamma n}; \\ I_{on} = C_n U_{\Gamma n} + D_n I_{\Gamma n}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $U_{on}, I_{on}$  – матрицы токов и напряжений на отправном конце  $n$ -го элемента;

$U_{\Gamma n}, I_{\Gamma n}$  – матрицы токов и напряжений на приемном конце  $n$ -го элемента;

$A_n, B_n, C_n, D_n$  – квадратные матрицы коэффициентов для  $n$ -го элемента;

Затем выполняется эквивалентирование и анализ сети. Предложенный матричный метод моделирования протяженных сетей для анализа несимметричных режимов, позволяет получить достаточно точные результаты и дает наглядное представление о работе СВЭ.

Тяговый транзит БАМа (в настоящее время) работает отдельно, вследствие слабости электрических связей между ОЭС Сибири и Востока. Фактическая точка раздела устанавливается в зависимости от схемно-режимной ситуации.

Отклонения напряжений, возникающие в сети, согласно ГОСТ 13109-97 определяются как

$$\delta U = [(U - U_{ном}) / U_{ном}] 100\%, \quad (2)$$

где  $U$  – напряжение в рассматриваемом пункте сети;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение сети.

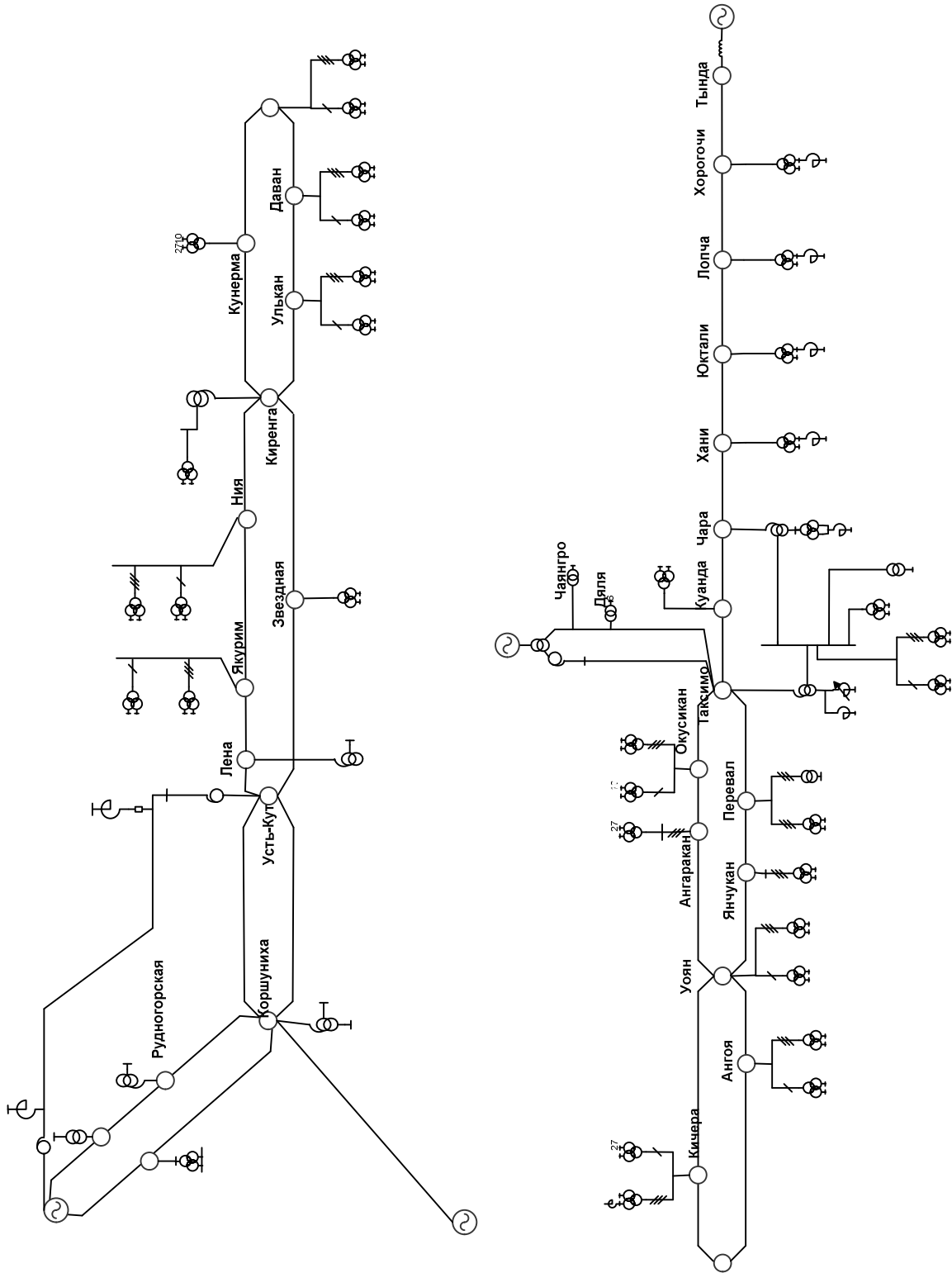


Рисунок 1 – Схема сети, питающей тяговые подстанции БАМ (уровень 2012 г.)



В том случае, когда в сети наблюдается несимметрия, под величиной  $U$  понимается напряжение прямой последовательности.

При анализе отклонений напряжения в характерных режимах и различных пунктах сети 220 кВ БАМ, исходя из практики эксплуатации этой сети, принимаются следующие условия:

– максимально допустимое напряжение в сети 220 кВ определяется наибольшим рабочим напряжением  $U_{\max} = U_{\text{нр}} = 252$  кВ и соответствующее допустимое отклонение напряжения составляет  $\delta U_{\text{доп max}} = 14,5\%$ ;

– минимально допустимое напряжение в сети 220 кВ определяется требованиями обеспечения необходимых запасов устойчивости нагрузки и примерно равно номинальному напряжению сети  $U_{\min} = U_{\text{ном}} = 220$  кВ, а соответствующее допустимое отклонение напряжения будет  $\delta U_{\text{доп min}} = 0\%$ .

Возникающая в сети несимметрия в основном связана с обратной последовательностью. При этом нормально допустимые коэффициенты по обратной последовательности не должны превышать 2%.

Ниже в качестве примера использования матричной модели протяжённой сети приведены результаты анализа сети БАМ при разделе на ПС Уоян (рисунок 1). Отклонения напряжений и несимметрия при движении поездов с интервалами 50 мин при отсутствии средств симметрирования для западной части БАМ приведены на рисунках 2 и 3, для восточной части – на рисунках 4 и 5. Параметры нагрузок приняты для расчетной точки межпоездного интервала зимнего рабочего дня, компенсирующие устройства учтены согласно схеме рисунок 1.

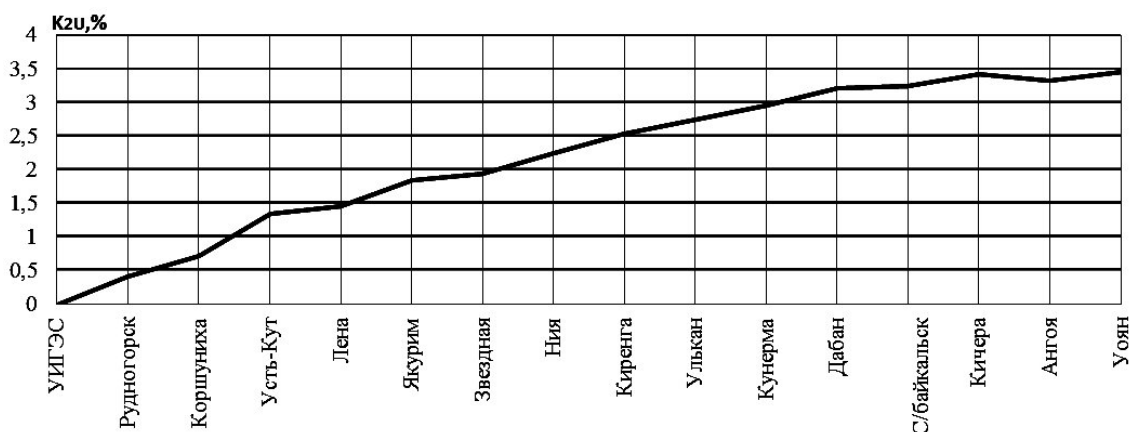


Рисунок 2 – Коэффициенты несимметрии по обратной последовательности Западной части сети

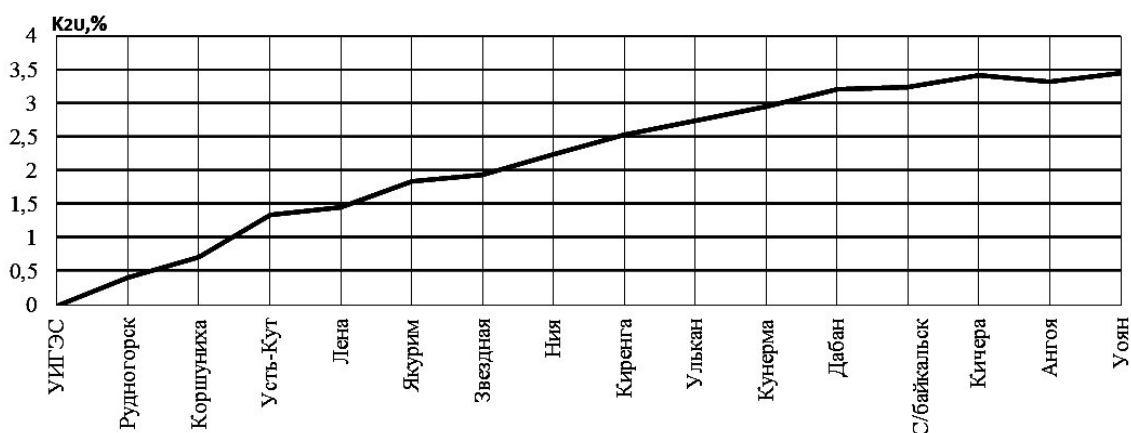


Рисунок 3 – Отклонения напряжений Западной части сети

Несимметрия на большей части западного участка БАМ превышает нормально допустимые значения. Отклонения напряжений в сторону снижения от номинального значения, начиная с подстанций восточнее ПС Усть-Кут, диктуют необходимость использования устройств реактивной мощности для повышения уровня напряжений.

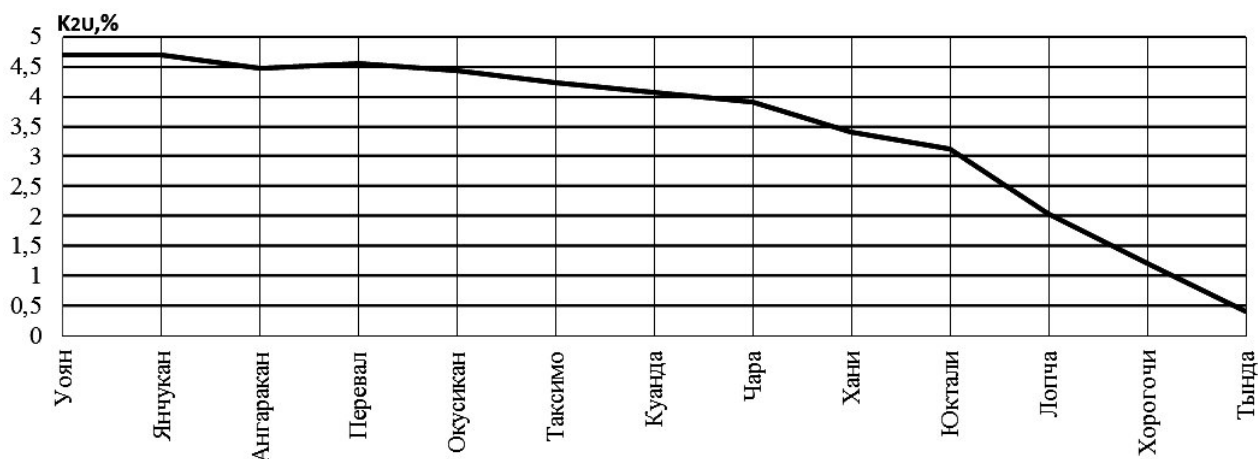


Рисунок 4 – Коэффициенты несимметрии по обратной последовательности Восточной части сети

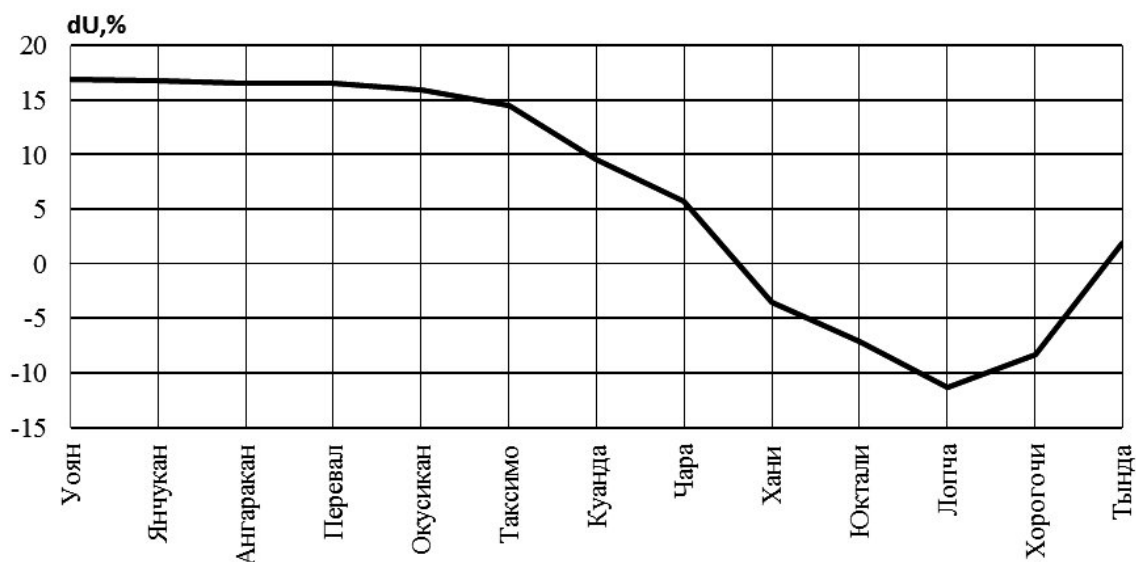


Рисунок 5 – Отклонения напряжений Восточной части сети

Несимметрия на значительной части восточного участка БАМ превышает нормально допустимые, а недопустимые отклонения напряжений имеют место как в положительную, так и отрицательную стороны.

Заключение.

Показана возможность анализа режимов работы протяженной сети при несимметричных нагрузках матричным методом в трехфазной постановке. Результаты расчетов, проведенные с помощью разработанной модели, подтверждают наличие проблемы качества электрической энергии в сети внешнего электроснабжения Байкало-Амурской магистрали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Костенко, М.В. Волновые процессы и электрические помехи в многопроводных линиях высокого напряжения / М.В. Костенко, Л.С. Перельман, Ю.П. Шкарин. -М.: Энергия, 1973.
- 2 Красильникова, Т.Г. Исследование схем транспозиции дальних и сверхдальних линий электропередачи: дис. ... канд. техн. наук / Т.Г. Красильникова. -Новосибирск: Новосиб. гос. техн. ун-т, 2005.
- 3 Анохин, Б.А. Анализ расположения фаз двухцепной линии на основе уравнений в фазных координатах / Б.А. Анохин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№1. -С. 296-299.
- 4 Красильникова, Т.Г. Матричные модели протяженных сетей для расчета несимметричных режимов / Т.Г. Красильникова, Б.А. Анохин // Международная молодежная научно-техническая конференция «Управление, информация и оптимизация в электроэнергетических системах» / Новосиб. гос. техн. ун-т. -Новосибирск, 2011.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: двухцепная воздушная линия, расположение фаз, уравнения в фазных координатах  
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Анохин Борис Анатольевич, аспирант ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

## ИМПУЛЬСНЫЙ РЕДУКЦИОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ МОЩНОСТИ КАК ОСНОВНОЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Забайкальский институт железнодорожного транспорта, филиал ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

К.В. Менакер, А.С. Цветаева

**PULSE REDUCTION CONVERTER OF CAPACITY AS MAIN POWER SUPPLY OF ELECTROVEHICLES**

Trans-Baikal institute of railway transport, branch «Irkutsk state university of means of communication»

K.V. Menaker, A.S. Tsvetaeva

We propose reducing the pulse power converter of electrical energy. The analysis of the converter circuit to determine the limiting output power level. The designed device can be used as a primary and a backup source of electrical energy.

*Keywords: capacity transformer, energy saving, accumulative capacity, electronic key, inductor coil, current resonance*

Предложен импульсный редукирующий преобразователь мощности электрической энергии. Осуществлен анализ работы схемы преобразователя на предмет определения предельного уровня выходной мощности. Разработанное устройство может быть применено в качестве основного и резервного источника электрической энергии.

Постоянный рост цен на энергоносители и ужесточение экологических норм заставляет авто и авиа производителей искать новые пути повышения эффективности своих транспортных средств. Увеличение доли автотранспортных средств на природном газе, появление и массовое внедрение гибридных и электрических силовых установок, разработка всевозможных видов биотоплива тому подтверждение.

Исторически электромобили, водные и морские суда на электроприводе появились еще во времена Эдиссона. Простота конструкции, экологичность, отсутствие необходимости в охлаждающих и смазывающих жидкостях, простой пуск в холодное время года вот далеко неполный список преимуществ электродвигателя перед двигателями внутреннего сгорания. Однако, отсутствие надежных источников постоянного тока в то время привело к тому, что к 1915 году электрический автомобиль канул в лету. В 1931 году Никола Тесла предпринимает попытку возрождения электромобилей. Известная его демонстрация электромобиля с двигателем переменного тока, питаемого от высокоэффективного источника электрической энергии, могла бы навсегда изменить ход истории. Но скептицизм людей и жажда обогащения на продаже нефтепродуктов не позволили талантливому ученому притворить свои идеи в жизнь.

В настоящее время направление развития электропривода и эффективных источников электрической энергии является приоритетным для большинства известных производителей. Однако, несмотря на достигнутые результаты в области накопительных электрических устройств и гибридных систем, проблема с источниками электрической энергии остается весьма актуальной.

В работах [1-3] был раскрыт принцип действия импульсного редукирующего преобразователя мощности, разработанного в рамках обеспечения устойчивого электропитания устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. Первоначально преобразователь мощности разрабатывался в качестве резервного источника питания. Его максимальная выходная мощность не превышает 2,5 кВт при потребляемом уровне в 250 Вт. Даже эти характеристики как показали испытания, позволят отказаться от большого числа резервных аккумуляторных батарей на станциях и уменьшить энергопотребление до 10 раз.

Однако, проведенный анализ схемы показал, что введение обратной связи в разработанном устройстве позволит поставить его на самопитание и использовать первичный источник в виде аккумуляторной батареи лишь для пуска преобразователя. При этом становится возможным увеличение выходной мощности устройства до нескольких десятков и даже сотен киловатт и его использование для питания электродвигателей всевозможных транспортных средств.

В доказательство сказанного приведем простейший анализ упрощенной схемы разработанного преобразователя, представленной на рисунок 1.

Основным элементом схемы является катушка индуктивности  $L_1$ , с сопротивлением по постоянному току  $R_{L1}$ . Для линейной индуктивности напряжение на ее зажимах пропорционально скорости изменения тока и определяется выражением

$$u_L = L_1 \frac{di_L}{dt}. \quad (1)$$

Внимательный анализ выражения (1) показывает, что чем быстрее изменяется ток, проходящий через катушку, тем большее напряжение наводится на ее концах. Производная - это тангенс угла наклона касательной к функции тока. Значение тангенса угла  $\pm 90^\circ$  стремится к бесконечности, а значит и напряжение на катушке достигает значимых значений при резком прерывании тока, которое осуществляется в схеме с помощью электронного ключа J1.

Однако, прерывание тока ключом не означает одномоментную остановку электронов в проводнике катушки. Это подтверждает один из законов коммутации  $i_L(0_+) = i_L(0_-)$  и появление разрядов на выводах катушки. А это означает, что спустя определенное время после прерывания цепи катушки на ней действует практически прежнее значение тока при уровне напряжения, превышающего прежнее в десятки и сотни раз. Произведение же тока на напряжение это мгновенная мощность  $p_L = u_L i_L$ . Таким образом, мгновенная выходная мощность катушки превышает входную при импульсном характере тока, текущего через нее. Катушка как бы сама начинает вырабатывать электрическую энергию.

Остается только увеличить частоту коммутации катушки, время нахождения ее в высокоактивном состоянии и добиться совпадения по фазе напряжения  $u_L$  и тока  $i_L$ . Установкой параллельно индуктивности  $L_1$  правильно рассчитанной емкости  $C_1$  достигаются все три условия. При достижении режима резонанса токов в колебательном контуре  $L_1 C_1$  возникают свободные колебания с частотой  $f_2$  намного превышающей частоту  $f_1$  накачки катушки. Увеличивается время насыщенного состояния катушки до момента ее следующей подзарядки. Напряжение и ток на резонансной частоте совпадают по фазе [4], и кроме того, увеличивается амплитуда тока  $i_L$ . При этом частота коммутации катушки  $f_1$  должна быть намного меньше частоты ее свободных колебаний  $f_2$  и кратна ей  $f_1 = n \cdot f_2$  иначе достижение резонанса невозможно. Предельное же значение частоты коммутации катушки  $f_1$  выбирается исходя из времени достижения установившегося значения тока катушки при замкнутом положении ключа J1.

Закон изменения тока катушки при ее коммутации от источника постоянного тока носит экспоненциальный характер

$$i_L(t) = \frac{U_1}{R_{L1}} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{R_{L1}}{L_1} \cdot t\right) \right], \quad (2)$$

где  $U_1$  – ЭДС источника;

$\tau$  – постоянная времени катушки

$$\tau = L_1 / R_{L1}.$$

Спустя промежуток времени  $(2-3)\tau$  значение тока катушки достигает установившегося значения  $U_1 / R_{L1}$ . Поэтому частота коммутации катушки  $f_1$  должна быть не выше значения:

$$f_{1max} = (T_{min})^{-1} = (\tau \cdot s)^{-1}; \quad (5)$$

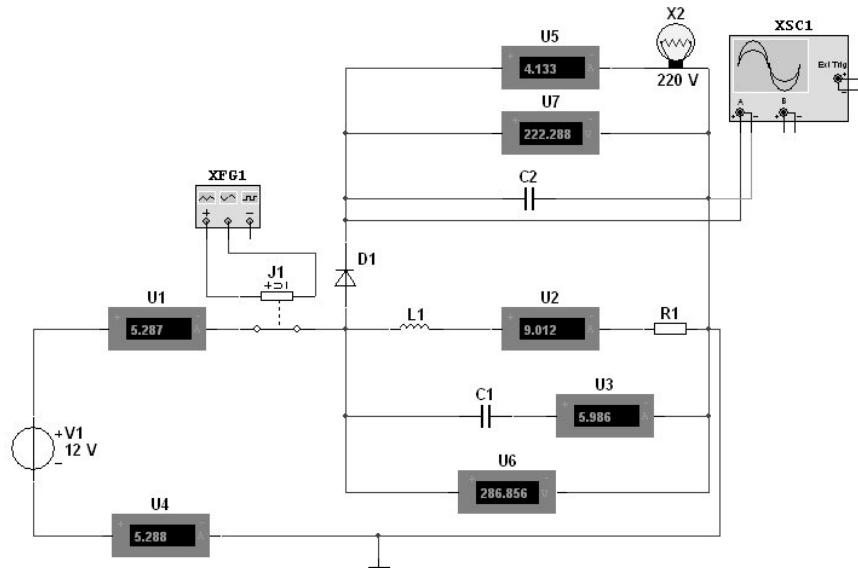


Рисунок 1 – Упрощенная схема преобразователя мощности без цепи обратной связи

$$s = T_{min}/h; h \geq \tau; T_{min} = h \cdot s = \tau \cdot s;$$

где  $h$  – длительность управляющего импульса;  
 $T_{min}$  – минимальный период следования импульсов;  
 $s$  – скважность управляющего сигнала генератора XFG1;

На более высокой частоте коммутации значение тока катушки просто не будет успевать достигать своего установившегося значения, которое квадратично определяет значение запасенной энергии:

$$w_L(t) = \frac{L_1 \cdot i_L^2}{2} \approx \frac{L_1 \left( \frac{U_1}{R_{L1}} \right)^2}{2}, \quad (3)$$

Для определения выходной мощности преобразователя рассмотрим энергетические процессы в параллельном колебательном контуре  $L_1C_1$ . Как было сказано на резонансной частоте напряжение и ток контура совпадают по фазе:

$$u = \sqrt{2} U \cdot \cos(\omega_0 t + \psi); i = \sqrt{2} I \cdot \cos(\omega_0 t + \psi). \quad (4)$$

Мгновенное значение энергии, запасаемой в индуктивности, определяется ее током

$$i_L = \sqrt{2} I \cdot \cos(\omega_0 t + \psi), \quad (5)$$

а мгновенное значение энергии, запасаемой в емкости, – напряжением емкости

$$u_C = \sqrt{2} I \cdot \frac{1}{\omega_0 C} \cos\left(\omega_0 t + \psi - \frac{\pi}{2}\right) = \sqrt{2} I \cdot \rho \cdot \sin(\omega_0 t + \psi). \quad (6)$$

Подставляя выражения (5) и (6) в выражения для энергии индуктивности и емкости, получаем:

$$w_{L1} = \frac{L_1 \cdot i_L^2}{2} = L_1 \cdot I^2 \cdot \cos^2(\omega_0 t + \psi) = \frac{L_1 \cdot I^2}{2} [1 + \cos^2(\omega_0 t + \psi)]; \quad (7)$$

$$w_{C1} = \frac{C_1 \cdot u_C^2}{2} = C_1 \cdot I^2 \cdot \rho^2 \cdot \sin^2(\omega_0 t + \psi) = C_1 \cdot I^2 \cdot \frac{L_1}{C_1} \sin^2(\omega_0 t + \psi) = \frac{L_1 \cdot I^2}{2} [1 - \cos^2(\omega_0 t + \psi)];$$

$$\rho = \frac{1}{\omega_0 C_1} = \omega_0 L_1 = \sqrt{L_1/C_1}.$$

Несмотря на то, что  $w_{L1}$  и  $w_{C1}$  являются функциями времени, суммарная энергия, запасенная в реактивных элементах цепи, постоянна [4]

$$W_{зан} = w_{L1} + w_{C1} = L_1 \cdot I^2. \quad (8)$$

При условии многократных колебаний контура на частоте  $f_2 = \omega_0/2\pi$  и односторонней передачи накопленной энергии через диод D1 в накопительную емкость  $C_2$ , мощность, выделявшаяся в нагрузку за 1 с составит:

$$P_H = W_{зан} \frac{f_2}{S} = L_1 I^2 \frac{f_2}{S}. \quad (9)$$

Опытные испытания преобразователя мощности без цепи обратной связи, представленного на рисунок 1 подтвердили правильность изложенного. Выходная мощность преобразователя составила 1 кВт при уровне потребляемой в 70 Вт. Многократное превышение уровня выходной мощности потребляемого значения позволяет ввести в схему преобразователя обратную связь, осуществить запуск от аккумуляторной батареи, и да-

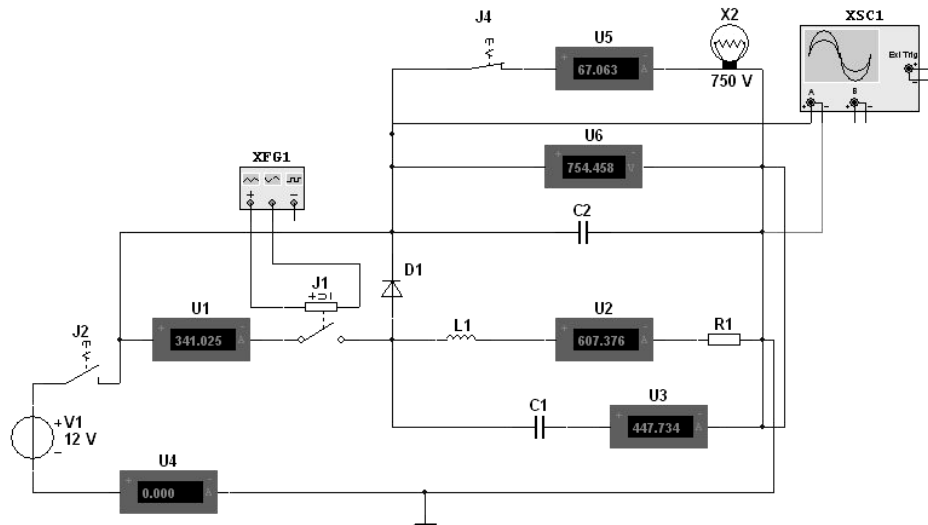


Рисунок 2 – Упрощенная схема преобразователя мощности с цепью обратной связи

лее, при временно отключенной нагрузке подать всю выходную энергию во входную цепь. Произойдет лавинное увеличение выходной мощности преобразователя, которое необходимо ограничивать с помощью стабилизаторов тока и напряжения. При достижении на выходе преобразователя соответствующего напряжения осуществить включение нагрузки. На рисунке 2 представлены результаты моделирования работы схемы преобразователя с цепью обратной связи. При уровне выходного напряжения в 750 В выходная мощность составила 50 кВт и это без дополнительных внешних источников энергии. Предельная выходная мощность преобразователя в данном случае ограничивается предельно допустимыми параметрами элементной базы.

Разработанный преобразователь может быть использован в качестве основного и резервного источников электроснабжения стационарных объектов и главным образом электротранспортных средств.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Менакер, К.В. Разработка преобразователя мощности электрической энергии / К.В. Менакер // Проблемы трансферта современных технологий в экономику Забайкалья и железнодорожный транспорт. -2011. -Т.2. -С. 225-233.
- 2 К вопросу создания преобразователя мощности как резервного источника питания / К.В. Менакер, А.С. Цветаева, А.Г. Литвинцев, Н.Н. Семенов // Электробезопасность.
- 3 Менакер, К.В. К вопросу определения предельной выходной мощности импульсного преобразователя мощности электрической энергии / К.В. Менакер, А.С. Цветаева // Энергобезопасность и энергосбережение.
- 4 Попов, В.П. Основы теории цепей: учеб. для вузов / В.П. Попов. -3-е изд., испр. -М.: Высш. шк., 2000. -575 с.: ил.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** преобразователь мощности, энергосбережение, накопительная ёмкость, электронный ключ, катушка индуктивности, резонанс тока  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Менакер Константин Владимирович, канд. техн. наук, доцент ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»  
Цветаева Анна Сергеевна, аспирант ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 672040, г. Чита, ул. Магистральная, 11, ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»

## **ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ СХЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ВСЕРЕЖИМНЫХ МОДЕЛИРУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»**

**Ю.В. Хрущев, Ю.С. Боровиков, К.И. Заповодников, А.О. Сулайманов**

### **PRINCIPLES OF FORMATION OF SCHEMES FOR MODELLING CONSTRUCTION ALL-MODE SIMULATION COMPLEXES COMPLEX ELECTRIC POWER SYSTEMS**

**«National research «Tomsk polytechnic university»**  
Yu.V. Hrushev, Yu.S. Borovikov, K.I. Zapodovnikov, A.O. Sulajmanov

The basic principles of decision-making are formulated at formation of schemes of modeling for creation of variable modeling complexes of difficult electropower systems. High level of uncertainty of initial conditions and basic data owing to what the part of decisions on formation of schemes of modeling is accepted on the basis of an expert approach is noted.

*Keywords: variable modeling, electropower systems, schemes of modeling*

Сформулированы основные принципы принятия решений при формировании схем моделирования для построения всережимных моделирующих комплексов сложных электроэнергетических систем. Отмечен высокий уровень неопределённости исходных условий и исходных данных, в силу чего часть решений по формированию схем моделирования принимается на основе экспертного подхода.

При решении прикладных задач, связанных с моделированием схем и режимов сложной электроэнергетической системы (ЭЭС), неизбежно решается задача упрощения её исходного математического описания процессов (исходной модели) [1]. Как известно, такое упрощение сводится к понижению порядка системы дифференциальных уравнений ЭЭС в соответствии с условиями решаемой задачи и уровнем качества применяемых для моделирования средств. Упрощение достигается различными способами [1], которые условно можно объединить в группу способов понижения количества представляемых в расчётной модели элементов и группу способов понижения степени детализации подсистем уравнений этих элементов. В зависимости от конкретных условий в большей мере используются способы упрощения первой или второй группы, однако способы обеих групп присутствуют совместно.

Современные профессиональные программные комплексы (ПК), широко используемые

для расчётов нормальных и переходных режимов ЭЭС, ориентированы, как правило, на преимущественное упрощение исходных моделей за счёт понижения степени детализации подсистем уравнений электрических машин, однолинейного представления элементов в схемах замещения, представления процессов в форме действующих значений электрических параметров и других допущений. Количество представляемых элементов также ограничивается, однако это ограничение более связано с построением рациональных расчётных моделей, а не с количественными характеристиками ПК, поскольку современные ПК являются практически безразмерными. Они обеспечивают возможность представления в расчётных моделях ЭЭС десятков тысяч узлов и ветвей, сотен электрических машин и других элементов.

В группе профессиональных вычислительных средств заметно выделяется новая цифровая система моделирования ЭЭС «EMTP» [2]. В этой системе обеспечивается возможность совместного моделирования быстрых и медленных процессов при достаточно высоком уровне математических моделей элементов ЭЭС и трёхфазном её представлении. Однако при этом возможное количество представляемых в расчётной модели ЭЭС элементов на два-три порядка меньше, чем при использовании традиционных ПК. Основной причиной, вызывающей необходимость резкого понижения количества элементов исходной модели ЭЭС, является недостаточная производительность современных вычислительных систем.

Задачи, связанные с введением в практику эксплуатации гибких устройств (FACTS-устройств) управления, переходом к быстродействующим цифровым системам регулирования и с общим развитием технической базы современных энергосистем, оказались чрезмерно сложными для их глубокого анализа с использованием существующих средств цифрового моделирования. Потребовалось создание новых инструментов моделирования, соответствующих по возможностям количественного и качественного представления элементов ЭЭС содержанию этих задач.

Потенциально пригодными инструментами для решения назревших задач являются всережимные моделирующие комплексы (ВМК), специально ориентированные на моделирование электроэнергетических систем в трехфазном исполнении без ограничения количественного и качественного представления элементов в расчётных моделях ЭЭС [3, 4]. Уникальные свойства ВМК достигаются за счёт применения аналоговых решающих преобразователей и построения на их базе специализированных аналого-цифровых процессоров с физическими выводами, посредством которых собираются моделируемые схемы. При этом независимо от сложности расчётных моделей воспроизведение процессов на ВМК ЭЭС осуществляется в естественном масштабе времени.

Результаты разработок по гибриднему моделированию энергосистем, полученные к настоящему времени в Томском политехническом университете, позволяют выполнять ВМК с произвольно высокими количественными и качественными показателями представления элементов ЭЭС. При построении ВМК сложных ЭЭС рациональный выбор этих показателей сводится к принятию компромиссных решений, обусловленных, помимо содержания предполагаемых к постановке задач, наличием объективных обстоятельств и условий. Полезный опыт принятия подобных решений получен при поисковой проработке задачи проектирования ВМК по перспективной схеме объединённой энергосистемы (ОЭС) Сибири.

Неизбежным этапом проектирования ВМК является разработка *схемы моделирования* подлежащей исследованию энергосистемы. В графической форме схема моделирования представляет собой связную однолинейную электрическую схему ЭЭС стандартного вида, на которой показаны, во взаимосвязи, все элементы силового оборудования, моделируемые в составе ВМК. Обозначения на схеме содержат необходимый минимум информации о каждом элементе (диспетчерское имя, тип, основные номинальные параметры), достаточный для его однозначного восприятия и представления в составе ВМК.

Схема моделирования состоит из непреобразованной (консервативной) и преобразованной (эквивалентной) частей. Элементный состав консервативной части определяется, в обобщённом виде, пользователем ВМК и конкретизируется в процессе дальнейшей разработки. Структурное построение и элементный состав эквивалентной части выявляются в процессе разработки схемы моделирования как результат упрощения преобразуемой части исходной модели ЭЭС. Вместе со схемой консервативной части, включающей также элементы перспективного развития, этих данных достаточно для построения (сборки) ВМК ЭЭС. Определение количественного содержания параметров элементов обеих частей итоговой схемы может быть перенесено на этапы постановки и решения конкретных задач моделирования на ВМК ЭЭС.

Основные затруднения в работе на этапе формирования схемы моделирования обусловлены высоким уровнем неопределённостей по различным аспектам исходных условий и исходных данных.

На этом этапе, как правило, весьма обобщённо определён спектр подлежащих решению задач и, следовательно, обобщённо определены требования к техническим характеристикам ВМК ЭЭС, соответствующие этим задачам. В результате отсутствует достаточная чёткость в вопросе ограничения количественного состава элементов, представляемых в преобразованной части исходной схемы.

Существенную неопределённость имеет исходная информация по перспективному развитию ЭЭС. Проектные решения по схемам подключения объектов перспективного развития в этой информации отсутствуют, вследствие чего становится необходимым использование типовых решений в формируемой схеме моделирования.

Практически полностью отсутствует информация об элементном составе нагрузочных элементов исходной модели ЭЭС. Поэтому структура моделирующих нагрузочных элементов в составе эквивалентов подсистем определяется ориентировочно, исходя из общеинженерных оценочных соображений по возможному составу электрооборудования на предприятиях того или иного вида.

Важным ограничивающим условием является зависимость стоимости моделирующего комплекса от количества представленных в нём комплектующих элементов. В общем случае этим условием нечётко ограничивается количественный состав элементов схемы моделирования комплекса.

Совокупность обозначенных здесь и других, менее значимых, неопределённостей и ограничений является причиной экспертного, в значительной мере, подхода к формированию схемы моделирования ЭЭС. Экспертный подход используется, в основном, при формировании эквивалентной части и перспективной составляющей схемы моделирования. Элементы действующих объектов консервативной части представляются в схеме моделирования с незначительными изменениями по отношению к исходной модели ЭЭС.

Практическое применение экспертного подхода связано с выработкой некоторых правил (принципов), конкретизирующих действия разработчиков при формировании схемы моделирования ЭЭС. Поскольку возможность выработки универсальных принципов, применимых для всех случаев формирования схем моделирования, является нереальной, рациональное решение этой задачи видится в развитии базы принципов по частным случаям и накоплении опыта их использования.

**Формирование схемы моделирования ЭЭС Сибири.** Продемонстрируем состав и применение основных принципов формирования схемы моделирования сложной энергосистемы на примере преобразования исходной модели ЭЭС Сибири.

Область интересов специалистов, исследующих перспективные направления развития ЭЭС Сибири, сосредоточена в её системообразующей части напряжением 500-220 кВ, в силу чего в схеме моделирования полностью сохраняется эта часть как полноценный инструмент для решения широкого круга исследовательских и, возможно, проектно-эксплуатационных задач. Периферийная часть, представленная в исходной модели ЭЭС электрическими сетями напряжением 110 кВ и ниже, в схеме моделирования заменяется группой эквивалентных элементов, связанных между собой непосредственно, либо через системообразующую часть.

Исходя из изложенных выше исходных условий, при формировании схемы моделирования ЭЭС Сибири приняты следующие принципы:

- электрическая сеть 500 кВ отображается полностью;
- электрическая сеть 220 кВ отображается с минимальными непринципиальными изменениями;
- в электрических сетях 500/220 кВ обеспечивается максимальная гибкость моделирования оперативных схем;
- электрическая сеть 110 кВ отображается в виде упрощенных подсистем (эквивалентов);
- электрические станции с суммарной установленной мощностью генераторов 100 МВт и выше отображаются с достаточным количеством реальных и эквивалентных энергоблоков, обеспечивающих все предполагаемые нормальные и аварийные состояния;
- электрические станции с суммарной установленной мощностью генераторов менее 100 МВт отображаются в виде эквивалентных энергоблоков;



- синхронные компенсаторы, батареи статических компенсаторов и шунтирующие реакторы, примыкающие к сетям 500-220 кВ отображаются полностью;
- электрические станции, подстанции, линии электропередачи, устройства гибкого регулирования (управляемые шунтирующие реакторы (УШР), статические тиристорные компенсаторы (СТК), вставки несинхронной связи (ВНС), устройства продольной компенсации и др.), предусмотренные планами развития ОЭС Сибири в период до 2016 года, отображаются полностью за исключением мини-электростанций с неопределенным местом подключения.

Методическую основу формирования преобразованной (эквивалентной) части и перспективных элементов схемы моделирования составляют следующие, частично принятые на экспертном уровне, положения:

- шунтирующие связи 110 кВ с большим количеством промежуточных подстанций представляются в виде Т-образных эквивалентов;
- шунтирующие связи 110 кВ, содержащие нормально выключенные коммутаторы (выключатели, разъединители), а также связи с суммарной длиной линий свыше 200 км представляются статическими нагрузками;
- линии электропередачи 110 кВ длиной до 20 км с промежуточными подстанциями мощностью до 20 МВА представляются линиями без нагрузок (производится разнос нагрузок по конечным подстанциям);
- параллельные линии 110 кВ представляются в виде эквивалентных линий;
- компенсирующие устройства на подстанциях 110 кВ, примыкающих к подстанциям 500/220 кВ, сохраняются;
- схемы вновь вводимых подстанций 500, 220 кВ принимаются типовыми (с двумя секциями шин);
- схемы вновь вводимых электростанций, если отсутствуют уточняющие сведения, принимаются блочными;
- в схемах подстанций 220/110 кВ исключаются обходные системы шин;
- в схемах вновь вводимых элементов, а также элементов, переводимых на повышенное напряжение, предусматривается возможность их шунтирования или отключения;
- ОЭС Востока представляется Т-образным эквивалентом, подключенным через ВНС;
- западная, по отношению к ОЭС Сибири, часть Единой энергосистемы России, представляется звездообразной пятилучевой схемой с эквивалентными генератором и статической нагрузкой в центре.

Для верного отображения динамических и статических свойств нагрузки упрощаемой подсистемы используются эквивалентные синхронные (СД) и асинхронные (АД) электродвигатели и статические элементы (СН) в составе модели нагрузки.

Полный набор этих элементов (СД, АД и СН) используется для моделирования местной нагрузки электростанций, включая нагрузку собственных нужд, установленной мощностью 200 МВт и выше.

Такой же набор используется для моделирования нагрузки крупных промышленных узлов (металлургические, машиностроительные, химические, нефтедобывающие и нефтеперерабатывающие, лесопромышленные предприятия).

Парой элементов АД и СН моделируется нагрузка в составе эквивалентных Т-образных схем, отображающих распределенную нагрузку предприятий средней и малой мощностей, нагрузку населенных пунктов.

Нагрузка остальных объектов (железнодорожные подстанции, мелкие и средние предприятия, собственные нужды электростанций с установленной мощностью до 200 МВт и др.) представляется статическими элементами СН.

Эквивалентную часть схемы моделирования в основном составляют естественные по наименованию и содержанию моделирующие элементы. Поэтому их номенклатурный состав в консервативной и эквивалентной частях схемы моделирования практически одинаков. Исключением являются эквивалентные лучи, отсутствующие в исходной модели ОЭС, но используемые в эквивалентной части схемы моделирования.

Эквивалентные лучи широко используются для эквивалентного представления тупиковых (рисунок 1) и шунтирующих (рисунок 2) подсистем, а также для построения многолучевых звездообразных эквивалентов.

Функционально эквивалентный луч используется для моделирования обменных процессов между узлом эквивалентной нагрузки и узлом примыкания. По конструкции он близок

к моделирующему элементу линии электропередачи без поперечных проводимостей, оборудованному идеальным трансформатором. При такой конструкции луча Т-образный или многолучевой эквивалент может быть подключен к узлам разных номинальных напряжений.

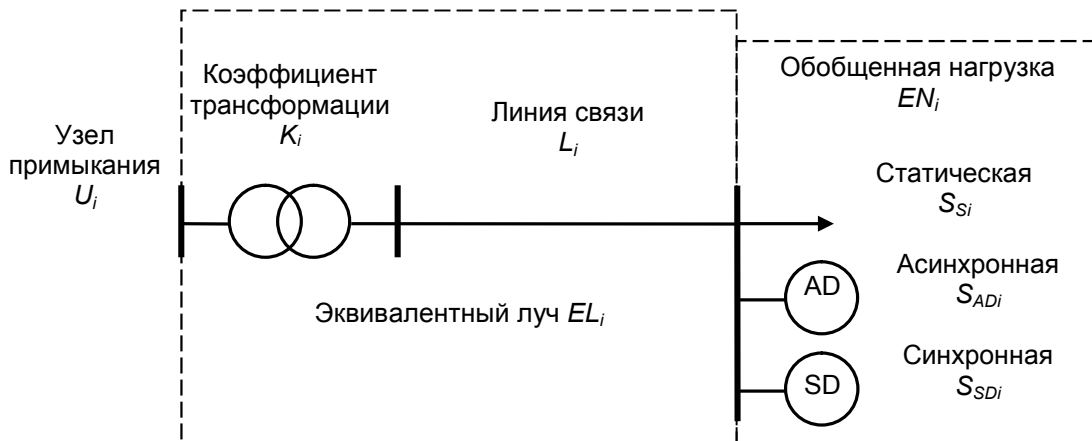


Рисунок 1 – Схема простой эквивалентной подсистемы с одним узлом примыкания

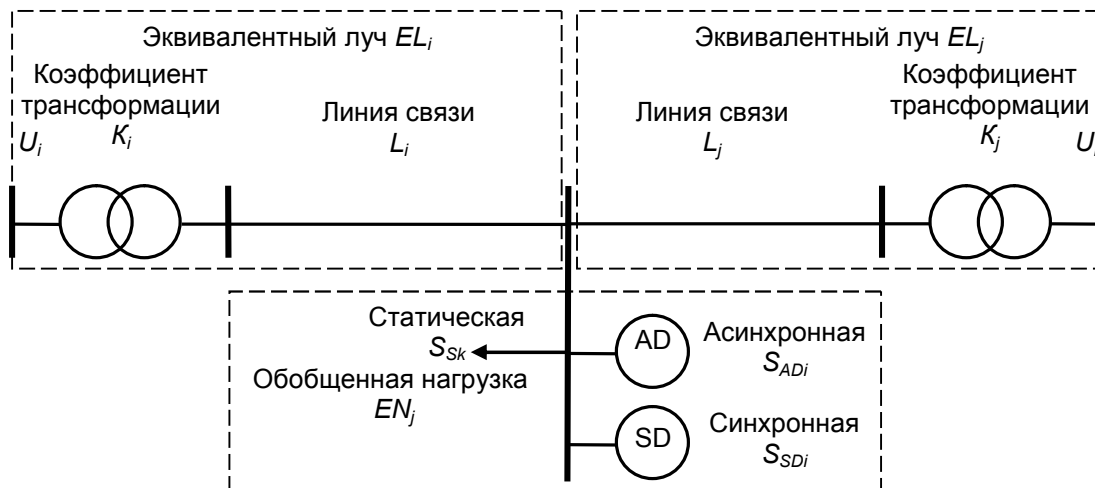


Рисунок 2 – Схема шунтирующей эквивалентной подсистемы с двумя узлами примыкания

Вместе с графическим представлением схемы моделирования полезно, для наглядности, отдельным списком выделить эквивалентные моделирующие элементы преобразованной части исходной модели ЭЭС. Ниже для примера такой список приведен, в форме таблиц 1 и 2, для преобразованной исходной модели Омской энергосистемы. В общем, при формировании схемы моделирования ОЭС Сибири подобному преобразованию и представлению подвергнуты исходные модели десяти энергосистем.

В целом консервативную и эквивалентную части схемы моделирования ОЭС Сибири составляют моделирующие элементы в количестве:

– энергоблоки .....	188;
– автотрансформаторы и трансформаторы.....	432;
– линии электропередачи.....	631;
– эквивалентные лучи.....	86;
– элементы статической нагрузки.....	619;
– двигатели асинхронные.....	380;
– двигатели синхронные.....	260;
– синхронные компенсаторы.....	8;
– шунтирующие реакторы .....	41;
– конденсаторные батареи.....	14;
– установки продольной компенсации.....	2;
– управляемые шунтирующие реакторы .....	6;
– статические тиристорные компенсаторы .....	4;

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

- вставки несинхронной связи ..... 3;
- коммутаторы ..... 3804;
- токоограничивающие реакторы ..... 7.

Таблица 1 – Эквивалентные моделирующие сетевые элементы преобразованной подсистемы (Омской энергосистемы) ОЭС Сибири

Узлы примыкания/ Тип эквивалента	Характерные объек- ты исходных схем	Элементы эквивалентов	Примечания
ПС «Густафьево»-(ПС «Московка» +ПС «Октябрьская»)/ Эквивалентная линия	ВЛ: С-11, С-12		Нагрузка промежуточной подстанции разносится по узлам примыкания
Омская ТЭЦ -5- (ПС «Московка»+ПС «Октябрьская»)/ Эквивалентная линия	ВЛ: С-101, С-102, С-15, С-16		Нагрузка промежуточных подстанций разносится по узлам примыкания
Омская ТЭЦ-3 - (ПС «Московка»+ПС «Октябрьская»)/ Эквивалентная линия	ВЛ: С-19, С-20		Нагрузка промежуточных подстанций разносится по узлам примыкания
Омская ТЭЦ-5 –ПС «Ульяновская»/ Эквивалентная линия	ВЛ: С-115, С-116, С-117, С-118		Нагрузка промежуточных подстанций разносится по узлам примыкания
Омская ТЭЦ-3 –ПС «Лузино»/ Эквивалентная линия	ВЛ: С-61, С-62, С- 53, С-54		Нагрузка промежуточных подстанций разносится по узлам примыкания
ПС «Иртышская»-ПС «Лузино»/Т- схема	ПС: Любовька, Та- лакпер, Ново- уральская(т) и др.	СН, АД	Преобразование в Т- схему
ПС «Петрушенко»- ПС «Лузино»/Эквивалентная линия	ВЛ: С-3, С-4		Объединение парал- лельных линий
ПС «Петрушенко»- ПС «Называевская»/Т-схема	ПС: Фёдоровка, Любинская(т), Но- волюбинская, Но- вокиевская(т), Дра- гунская и др.	СН, АД, СД	Преобразование в Т- схему
ПС «Петрушенко»-Омская ТЭЦ-4/ Эквивалентная линия	ВЛ: С-21, С-22		Нагрузка промежуточных подстанций разносится по узлам примыкания

Таблица 2 – Эквивалентные моделирующие генераторные элементы (ЭГ) преобразованной подсистемы (Омской энергосистемы) ОЭС Сибири (количество определено схемой распределительного устройства)

Название станции	Мощность, МВт	Количество генераторов×мощность, МВт	Состав эквивалентов
ТЭЦ-2	340		2×ЭГ
ТЭЦ-3	350	4×25; 5×50	2×ЭГ
ТЭЦ-4	535	4×50; 3×100; 1×135	4×ЭГ
ТЭЦ-5	695	2×80; 2×175; 1×185	3×ЭГ

Сформированная схема потенциально позволяет осуществлять моделирование в широком спектре оперативных схемно-режимных состояний ОЭС Сибири, включая состояния, определяемые работой гибких устройств регулирования в нормальных и переходных режимах. Для реализации этих потенциальных возможностей необходимо создать базу данных, содержащую количественные показатели технических параметров всех моделирующих элементов ВМК ОЭС. Наиболее трудоёмкой частью работы при создании этой базы является определение количественного содержания технических параметров моделирующих элементов FACTS-устройств, объектов перспективного развития и эквивалентных элементов преобразованной части исходной модели ОЭС. Количественное содержание технических параметров FACTS-устройств к настоящему времени ещё не полностью определено, сведения о номенклатуре элементов в составе объектов перспективного развития отсутствуют, методика расчёта параметров динамических эквивалентных элементов находится в разработке.

Все эти затруднения подлежат снятию в процессе изготовления, отладки и опытной эксплуатации ВМК ОЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Веников, В.А. Переходные электрохимические процессы в электрических системах: учеб. для электроэнергет. спец. вузов / В.А. Веников. -Изд. 2-е, перераб. и доп. -М.: Высш. шк., 1970. -472 с.
- 2 Greenwood, A. Electrical Transients in Power Systems / A. Greenwood, J. Wiley&Sons. -1991.
- 3 Гусев, А.С. Концепция и средства всережимного моделирования в реальном времени электроэнергетических систем / А.С. Гусев // Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики. -2008. -№9/10/1. -С. 162-168.
- 4 Всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем / А.С. Гусев, Ю.В. Хрущев, С.В. Гулин, С.В. Свечкарёв, И.Л. Плодистый // Электричество. -2009. -№12. -С. 5-8.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** всережимное моделирование, электроэнергетические системы, схемы моделирования  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Хрущев Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
 Боровиков Юрий Сергеевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
 Заподовников Константин Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
 Сулайманов Алмаз Омурзакович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

## ПРИМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МОЩНОСТИ ДЛЯ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ПИТАНИЯ, РАЗЛИЧНЫХ УСТРОЙСТВ И ЦЕПЕЙ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Забайкальский институт железнодорожного транспорта, филиал  
 ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей  
 сообщения»

**Н.Н. Семёнов, К.В. Менакер**

### USE OF THE PULSE CONVERTER OF CAPACITY FOR RESERVATION OF A FOOD OF VARIOUS DEVICES AND CHAINS OF TRACTION SUBSTATIONS

Trans-Baikal institute of railway transport, branch «Irkutsk state university of means of communication»

N.N. Semyonov, K.V. Menaker

In this article the question of improvement of system of reservation of a food of various devices and chains of traction substations is] considered at emergence oi emergency operation. It is for this purpose offered to use the reduktsionny converter of capacity instead of storage batteries.

*Keywords: traction substation, storage battery, reservation, reduktsionny converter of capacity*

Рассмотрен вопрос усовершенствования системы резервирования питания различных устройств и цепей тяговых подстанций при возникновении аварийного режима. Для этого предлагается использовать вместо аккумуляторных батарей редуцирующий преобразователь мощности.

Аккумуляторные батареи предназначены для питания оперативных цепей постоянного тока и для резервирования питания различных устройств и цепей тяговых подстанций. В настоящее время на тяговых подстанциях используются необслуживаемые аккумуляторные батареи типа «Dryfit» А600 OPzV, выпускаемые немецкой фирмой «Sonnenschein».

Общее число аккумуляторных батарей, используемых на тяговой подстанции в качестве резерва, определяется из расчёта

$$N = \frac{U_{шв}}{U_{пз}}, \quad (1)$$

где  $N$  – число последовательно включенных элементов батареи;

$U_{шв}$  – напряжение на шинах выключателя, В,  $U_{шв} = 243$  В;

$U_{пз}$  – напряжение аккумуляторного элемента, В,  $U_{пз} = 2$  В.

$$N = 243/2 \approx 121 \text{ шт.}$$

Калькуляция затрат на закупку и монтаж оборудования приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Затраты на покупку оборудования, руб.

Тип устройства	Цена за единицу	Количество	Итого
Аккумуляторная батарея А600 OPzV	17 320	121	2 095 720
Зарядно-подзарядное устройство THYROTTRONIC	540 000	1	540 000
Монтажные работы	260 000	1	260 000
Всего			2 895 720

Высокие капитальные затраты приводят к необходимости поиска новых технических решений.

В рамках научных изысканий по поиску новых методов резервирования систем аварийного питания авторами был создан автономный импульсный преобразователь мощности редуccionного типа, с предельной выходной мощностью до 50 кВт.

Калькуляция предельной токовой нагрузки системы аварийного питания тяговой подстанции представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Нагрузка аккумуляторных батарей, А

Потребители постоянного тока	Длительная	Кратковременная
Лампы положений вакуумных выключателей	1,60	–
Устройства управления и защиты	9,10	–
Устройства телеуправления и связи	1,40	–
Аварийное освещение	11,36	–
Привод ПЭМУ – выключателя ВБНК-27,5-25/1600 УХЛ1	–	100
Итого:	23,46	100

При уровне напряжения нагрузки аварийной системы питания в 243 В максимальное значение выходной мощности составит около 30 кВт.

Расчетное значение емкости аккумуляторной батареи:

$$Q_{рас} = I_{оп.разр} \cdot t_{ав}, \text{ А}\cdot\text{ч}, \quad (2)$$

где  $t_{ав}$  – длительность разряда при аварии,  $t_{ав} = 2$  ч.

$$Q_{рас} = 23,46 \cdot 2 = 46,92 \text{ А}\cdot\text{ч}.$$

Упрощенная схема редуccionного преобразователя мощности, представленная на рисунке состоит из электронного ключевого элемента J1, колебательного контура L1C1, включенного по схеме резонанса токов, накопительной емкости C2, полупроводникового диода D1, генератора управляющих воздействий XFG1, стабилизатора напряжения (на схеме не представлен) и цепи обратной связи.

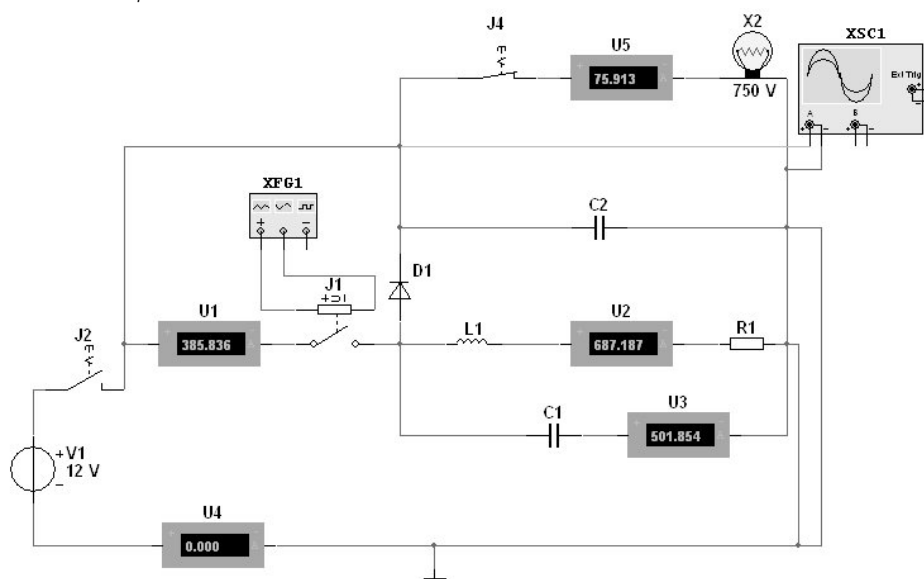


Рисунок – Упрощенная схема импульсного преобразователя мощности

Принцип работы редуccionного преобразователя мощности подробно изложен в работах [1, 2]. Отличием представленной схемы является наличие обратной связи позволяющей поставить устройство на самопитание с многократной накачкой выходной мощности до 50 кВт.

В целом применение разработанного редуccionного преобразователя мощности в составе резервной системы питания различных устройств и цепей тяговой подстанции позволит сократить число дорогостоящих аккумуляторов с 121 штуки напряжением 2 В до 1 штуки напряжением 12 В стоимостью 12 тыс.руб. марки А612/150 (3 OpzV 150), создать резерв мощности в 20 кВт без значительных капиталовложений, повысить надежность системы электропитания, увеличить время резервирования до 12 ч. Себестоимость преобразователя мощности составит около 100 тыс. руб.

Разработанный преобразователь мощности может быть также использован в качестве основного и резервного питания устройств различного назначения, исключая мобильные системы.

1 Менакер, К.В. Разработка преобразователя мощности электрической энергии / К.В. Менакер // Проблемы трансферта современных технологий в экономику Забайкалья и железнодорожный транспорт. -2011. -Т.2. -С. 225-233.

2 К вопросу создания преобразователя мощности как резервного источника питания / К.В. Менакер, А.С. Цветаева, А.Г. Литвинцев, Н.Н. Семенов // Электробезопасность.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *тяговая подстанция, аккумуляторная батарея, резервирование, редуцированный преобразователь мощности*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Семёнов Николай Николаевич, аспирант ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»  
Менакер Константин Владимирович, канд. техн. наук, доцент ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *672040, г. Чита, ул. Магистральная, 11, ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»*

## **ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СУДОВЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

ФБОУ ВПО «Морской государственный университет

им. адм. Г.И. Невельского»

ФБОУ ВПО «Государственная морская академия

им. адм. С.О. Макарова»

**А.Ф. Бурков, С.Е. Кузнецов**

**TECHNICAL MAINTENANCE OF ELECTRIC SHIP AUXILIARY MECHANISMS**  
«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»  
«State marine academy named adm. S.O. Makarov»  
A.F. Burkov, S.E. Kuznetsov

This article discusses the basic laws, used in assessing the technical operation of the ship's electric drives.

*Keywords: technical maintenance, ship drives, technical condition, the laws of distribution*

Рассматриваются основные законы, используемые при оценке технической эксплуатации судовых электроприводов.

В общем случае вопросы технической эксплуатации судового электрооборудования рассмотрены в [1, 2] и др.

Соответствие или несоответствие качеств объектов (судовых электроприводов (ЭП)) определенным техническим требованиям характеризуются видами технических состояний (ТС). Все множество ТС  $\Omega$  судовых ЭП с помощью установленных критериев качества может быть представлено в виде объединений пар подмножеств [2]:

$$\Omega = \Omega_u \cup \Omega_{nu} = \Omega_p \cup \Omega_{np} = \Omega_f \cup \Omega_{nf}, \quad (1)$$

где  $\Omega_u, \Omega_{nu}$  – исправное и неисправное ТС;

$\Omega_p, \Omega_{np}$  – работоспособное и неработоспособное ТС;

$\Omega_f, \Omega_{nf}$  – ТС правильного и неправильного функционирования.

ТС объектов (судовых ЭП) можно условно подразделить на следующие основные группы, определяемые соответствующими пересечениями подмножеств видов ТС: исправных, работоспособных, правильного функционирования; работоспособных, правильного функционирования, неисправных; правильного функционирования, неисправных, неработоспособных; неправильного функционирования, неисправных, неработоспособных.

ТС объектов (судовых ЭП) распознается с точностью до вида при проверке объекта и с точностью до группы – при поиске дефекта.

Отказы и восстановления судовых ЭП рассматриваются как случайные события. Наиболее полными характеристиками случайных величин являются законы их распределения.

В практических расчетах для дискретных случайных величин широко используются законы биномиального распределения и распределения Пуассона, а для непрерывных случайных величин – законы нормального распределения, экспоненциального распределения и распределения Вейбулла [2].

При биномиальном законе распределения дискретных случайных величин вероятность  $P_N$  того, что событие А осуществится в точности  $n$  раз при  $N$  испытаниях (на  $N$  объектах) определяется по формуле Бернулли

$$P_N(n) = C_N^n p^n q^{N-n}, \quad (2)$$

где  $C_N^n$  – число различных сочетаний из  $N$  по  $n$ .

Математическое ожидание  $M$  биномиального распределения, дисперсия  $D$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma$  числа  $n$  появлений события  $A$  находятся из выражений:

$$M(n) = Np; \quad D(n) = Np(1-p); \quad \sigma(n) = \sqrt{D(n)}. \quad (3)$$

При законе распределения Пуассона последовательность случайных событий рассматривается как поток событий.

Если известна постоянная интенсивность потока  $\lambda$ , то вероятность  $P_t$  появления числа событий  $n$  простейшего потока за время  $t$

$$P_t(n) = \frac{a^n \exp(-a)}{n!}, \quad (4)$$

где  $a$  – среднее число событий (отказов) за время  $t$  [2].

Математическое ожидание  $M$  распределения Пуассона, дисперсия  $D$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma$  числа  $n$  появлений события  $A$  связаны следующими зависимостями:

$$M(n) = D(n) = a; \quad \sigma(n) = \sqrt{D(n)}. \quad (5)$$

В (4) входит член  $n!$ , прямое вычисление которого при больших значениях  $n$  является достаточно трудоемким процессом. На практике широко используется асимптотическая формула Стирлинга [3]

$$n! \approx n^n \exp(-n) \sqrt{2\pi n}. \quad (6)$$

Согласно следствию теореме сложения вероятностей [4], сумма вероятностей всей группы несовместных событий равна единице, то есть

$$\sum_{n=0}^{\infty} P_t(n) = 1. \quad (7)$$

При нормальном распределении непрерывные случайные величины могут принимать любые значения от  $-\infty$  до  $+\infty$ . Нормальное распределение определяется математическим ожиданием  $M$  и среднеквадратическим отклонением  $\sigma$ :

$$M(n) = Np = T_{cp}; \quad \sigma(n) = \sqrt{Np(1-p)}, \quad (8)$$

где  $T_{cp}$  – средняя наработка до отказа.

В случае нормального распределения плотность  $f$  вероятности события (отказа) определяется по формуле Лапласа-Гаусса

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-T_{cp})^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (9)$$

Вероятность  $Q$  события (отказа) находится как

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp\left[-\frac{(t-T_{cp})^2}{2\sigma^2}\right] dt. \quad (10)$$

При нормальном распределении интенсивность  $\lambda(t)$ , определяемая как

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}, \quad (11)$$

с течением времени возрастает.

Вероятность отсутствия события

$$R(t) = 1 - Q(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt. \quad (12)$$

Нормальный закон распределения применим при отказах, связанных с постепенными износами, например ЭД трехфазного переменного тока с фазными обмотками ротора, подшипников ЭД и пр.

Экспоненциальное распределение, в отличие от нормального, является однопараметрическим и определяется интенсивностью или плотностью потока событий (параметром)  $\lambda$  [2].

При экспоненциальном распределении плотность  $f$  вероятности события (отказа ЭП) определяется как

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t). \quad (13)$$

В этом случае функция распределения, представляющая собой вероятность  $Q$  наступления отказа ЭП, имеет вид

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt = 1 - \exp(-\lambda t), \quad (14)$$

а вероятность  $R$  отсутствия события (безотказной работы ЭП) на отрезке времени  $(0; t)$

$$R(t) = 1 - Q(t) = \exp(-\lambda t). \quad (15)$$

Математическое ожидание выражается как

$$M(t) = T_{cp} = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} [1 - Q(t)] dt = \int_0^{\infty} \exp(-\lambda t) dt. \quad (16)$$

Дисперсия  $D$  и отклонение  $\sigma$  связаны зависимостью

$$D(t) = \sigma^2(t) = \lambda^{-2}. \quad (17)$$

Распределение Вейбулла определяется: параметром масштаба  $\lambda_0$  и параметром асимметрии распределения  $k$ . При этом

$$\lambda(t) = \lambda_0 k t^{k-1}. \quad (18)$$

Плотность  $f$  вероятности события (отказа ЭП) и вероятность  $Q$  наступления очередного события (отказа ЭП) определяются как

$$f(t) = \lambda_0 k t^{k-1} \exp(-\lambda_0 t^k); \quad (19)$$

$$Q(t) = 1 - \exp(-\lambda_0 t^k), \quad (20)$$

а вероятность  $R$  отсутствия события (безотказной работы ЭП)

$$R(t) = 1 - Q(t) = \exp(-\lambda_0 t^k). \quad (21)$$

Средняя наработка  $T_{cp}$  до отказа в этом случае

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} (1 - Q)(t) dt = \frac{\gamma(k^{-1} + 1)}{\lambda^{1/k}}, \quad (22)$$

где  $\gamma(k^{-1} + 1)$  – гамма-функция.

При  $k = 1$  распределение Вейбулла переходит в экспоненциальное распределение.

Закон распределения Вейбулла активно используется при описании характеристик надежности объектов в период их приработки, систем с большим количеством однотипных элементов и др. [2].

Показатели надежности эксплуатируемых объектов, включая судовые ЭП, в общем случае можно условно объединить в две основные группы: единичные и комплексные.

К единичным показателям надежности относятся безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

Вероятность  $R$  того, что в пределах заданной наработки  $t$  отказов объекта не возникнет, являющаяся основной количественной мерой безотказности объекта, может быть представлена в виде

$$R(t) = \text{Вер} \{t \leq t_0\}, \quad (23)$$

где  $t_0$  – случайная величина времени (наработка) объекта до отказа.

Ограничением функции  $R(t)$  является ее применение в определенном промежутке времени. Для характеристики надежности используются плотность  $f$  вероятности события (отказа) в момент времени  $t$

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt}, \quad (24)$$

а также интенсивность  $\lambda$  отказов

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = -\frac{R'(t)}{R(t)}, \quad (25)$$

являющаяся условной плотностью вероятности отказов.

К основным количественным показателям долговечности относятся величины, связанные с распределением ресурса и срока службы восстанавливаемых и невосстанавливаемых объектов: средний ресурс  $T_{p,cp}$ ; гамма-процентный ресурс  $T_{p,\gamma}$ ; назначенный ресурс  $T_{p,n}$



Средний ресурс  $T_{p,cp}$  определяется из уравнения

$$T_{p,cp} = \int_0^{\infty} t f_p(t) dt, \quad (26)$$

где  $f_p(t)$  – плотность распределения ресурса.

Гамма-процентный ресурс  $T_{p,\gamma}$  определяется из зависимости

$$1 - F_p(T_{p,\gamma}) = 1 - \int_0^{T_{p,\gamma}} f_p(t) dt = 0,01\gamma, \quad (27)$$

где  $F_p(T_{p,\gamma})$  – функция распределения ресурса при  $T_{p,\gamma}$  [2].

Назначенный ресурс  $T_{p,n}$  представляет собой суммарную наработку объекта (ЭП), при достижении которой применение его по назначению должно быть прекращено.

Основными показателями ремонтпригодности являются среднее время восстановления  $T_{в,ср}$  и вероятность восстановления  $P_в$ .

Время восстановления  $T_{в,ср}$  ЭП судовых механизмов, включающих в себя  $N$  компонентов, может быть определено в виде

$$T_{в,ср} \approx N^{-1} \sum_{i=1}^N T_{в,ср,i}, \quad (28)$$

где  $T_{в,ср,i}$  – среднее время восстановления  $i$ -го компонента.

Оценка вероятности восстановления  $P_в$  представляется как

$$P_в(t) \approx N_в(0)^{-1} N_в(t), \quad (29)$$

где  $N_в(0), N_в(t)$  – число однотипных восстанавливаемых устройств.

К количественным показателям сохраняемости относятся средний срок  $T_{с,ср}$  и гамма-процентный срок  $T_{с,\gamma}$  сохраняемости.

Средний срок сохраняемости  $T_{с,ср}$  оценивается по результатам наблюдений за  $N$  однотипными компонентами. В этих случаях

$$T_{с,ср} = N^{-1} \sum_{i=1}^N T_{с,i}, \quad (30)$$

где  $T_{с,i}$  – срок сохраняемости  $i$ -го объекта.

Срок  $T_{с,\gamma}$  (срок сохраняемости, который будет достигнут с заданной вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах) определяется как

$$1 - F_c(t) = 0,01\gamma, \quad (31)$$

где  $F_c(t)$  – функция распределения срока сохраняемости.

Так как современные судовые ЭП являются многокомпонентными, для них целесообразно использовать комплексные показатели надежности – коэффициент готовности  $K_г$ , коэффициент технического использования  $K_{м,у}$ , коэффициент оперативной готовности  $K_{о,э}$ , средняя суммарная трудоемкость ТО  $T_{ТО,с}$  и др.

Коэффициент  $K_г$  определяется из выражения

$$K_г = \frac{T_0}{T_0 + T_{в,ср}}, \quad (32)$$

где  $T_0$  – средняя наработка на отказ.

Коэффициент  $K_{м,у}$  показывает среднее относительное работоспособное время объекта за период эксплуатации и определяется как

$$K_{м,у} = \frac{T_{p,с}}{T_{p,с} + T_{ТО,с} + T_{рем,с}}, \quad (33)$$

где  $T_{p,с}$  – наработка однотипных объектов за период;

$T_{ТО,с}$  – время простоев всех объектов из-за ТО;

$T_{рем,с}$  – время простоев, обусловленных ремонтами объектов.

Коэффициент  $K_{о,э}$  при вероятности безотказной работы  $R$  в течение времени  $t_p$ , не за-

висящей от момента начала работы  $t$ , находится из выражения

$$K_{o.e} = K_e R(t_p). \quad (34)$$

Средняя суммарная трудоемкость ТО является комплексным показателем и определяется как

$$T_{\text{Тoc.c}}(t) = N^{-1} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n T_{\text{ТОi,j}}. \quad (35)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Рябинин, И.А. Надежность судовых электроэнергетических систем и судового электрооборудования / И.А. Рябинин, Ю.Н. Киреев. -Л.: Судостроение, 1974. -264 с.
- 2 Кузнецов, С.Е. Основы эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматизации / С.Е. Кузнецов. -М.: Транспорт, 1991. -232 с.
- 3 Анго, А. Математика для электро- и радиоинженеров / А. Анго; под ред. К.С. Шифрина. -М.: Наука, 1964. -772 с.
- 4 Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. -М.: Наука, 1964. -576 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *техническая эксплуатация, судовые электроприводы, техническое состояние, законы распределения*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Бурков Алексей Федорович, канд. техн. наук, доцент, проректор ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
Кузнецов Сергей Емельянович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ГМА им. адм. С.О. Макарова»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
190000, г. Санкт-Петербург, Косая линия, 15, ФБОУ ВПО «ГМА им. адм. С.О. Макарова»*

## ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

ФБОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

**А.Ф. Бурков**

**QUANTITATIVE RELIABILITY ASSESSMENT OF SHIP'S ELECTRIC DRIVES**  
«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»  
A.F. Burkov

This article assesses the quantitative characteristics of electric ship machinery reliability.

*Keywords: electric drives, performance reliability, ship mechanisms*

Рассматриваются основные системы электроприводов, используемых в судовых вспомогательных механизмах.

Так как эффективность эксплуатации судовых электроприводов (ЭП) в значительной степени определяется их надежностью, важной практической задачей теории надежности является определение номенклатуры и целесообразных значений показателей надежности. Рекомендации по нормируемым показателям надежности судового электрооборудования приведены в [1].

Временные режимы эксплуатации регулируемых судовых ЭП различны. Характерным временным режимом эксплуатации ЭП якорно-швартовых механизмов (ЯШМ) является оперативный режим, а регулируемых судовых ЭП грузоподъемных механизмов (ГПМ) – циклический.

В пределах решения поставленных задач необходимым и достаточным является количественное определение средних статистических значений параметра потока отказов  $\bar{\omega}$  и средней наработки на отказ  $T_o$ . К дополнительным показателям надежности следует отнести коэффициент отказов  $K_o$ .

При количественном определении средних статистических значений  $\bar{\omega}$  и  $T_o$  судовых ЭП ЯШМ и ГПМ составлены таблицы соответствия (таблица 1-таблица 4).

При составлении таблиц 1-4 использовались данные нормального периода эксплуатации ЭП ЯШМ и ГПМ, охватывающие средний временной диапазон 6 лет. Среднегодовое число часов работы ЭП принималось исходя из анализа опыта эксплуатации судовых ЭП [1] и составило: для судовых ЯШМ транспортного флота (55 ч – у комбинированных якорных

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

устройств; 30 ч – у швартовых шпилей и швартовых лебедок); для судовых ГПМ (170 ч – у грузовых кранов; 230 ч – у грузовых лебедок).

Таблица 1 – Соответствия между числом отказов  $n$ , параметром  $\bar{\omega}$  и наработкой на отказ  $T_o$ .  
ЭП якорных устройств транспортных судов

$n$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
$\bar{\omega} \cdot 10^{-3}, \text{ч}^{-1}$	9,1	18,2	27,2	36,4	45,5	5,5	63,7	72,5	82,0
$T_o, \text{ч}$	110,0	55,0	36,7	27,5	22,0	18,3	15,7	13,8	12,2
$n$	5,0	6,0	7,0	8,0	8,5	10,0	11,0	12,0	13,0
$\bar{\omega} \cdot 10^{-3}, \text{ч}^{-1}$	90,9	108,7	126,6	144,9	153,8	181,8	200,0	217,4	238,1
$T_o, \text{ч}$	11,0	9,2	7,9	6,9	6,5	5,5	5,0	4,6	4,2

Таблица 2 – Соответствия между числом отказов  $n$ , параметром  $\bar{\omega}$  и наработкой на отказ  $T_o$ .  
ЭП швартовых устройств транспортных судов

$n$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
$\bar{\omega} \cdot 10^{-3}, \text{ч}^{-1}$	16,7	33,3	50,0	66,7	83,3	100,0	116,3	133,3	149,3
$T_o, \text{ч}$	60,0	30,0	20,0	15,0	12,0	10,0	8,6	7,5	6,7
$n$	5,0	6,0	7,0	7,5	8,0	9,0	10,0	15,0	
$\bar{\omega} \cdot 10^{-3}, \text{ч}^{-1}$	166,7	200,0	232,6	250,0	263,2	303,0	333,3	500,0	
$T_o, \text{ч}$	6,0	5,0	4,3	4,0	3,8	3,3	3,0	2,0	

Таблица 3 – Соответствия между числом отказов  $n$ , параметром  $\bar{\omega}$  и наработкой на отказ  $T_o$ .  
ЭП грузовых кранов транспортных судов

$n$	3,5	4,5	7	14	21	24,5	29	49	61,5
$\bar{\omega} \cdot 10^{-3}, \text{ч}^{-1}$	20,6	26,5	41,2	82,6	123,5	144,9	169,5	288,2	361,8
$T_o, \text{ч}$	48,6	37,8	24,3	12,1	8,1	6,9	5,9	3,5	2,8

Таблица 4 – Соответствия между числом отказов  $n$ , параметром  $\bar{\omega}$  и наработкой на отказ  $T_o$ .  
ЭП грузовых лебедок транспортных судов

$n$	1,0	2,0	3,0	4,0	4,5	6,5	7,0	25,0	27,0	28,0	29,0
$\bar{\omega} \cdot 10^{-3}, \text{ч}^{-1}$	4,3	8,7	13,0	17,4	19,6	28,2	30,4	108,7	117,6	122,0	126,6
$T_o, \text{ч}$	230,0	115,0	76,7	57,5	51,1	35,4	32,9	9,2	8,5	8,2	7,9
$n$	33,5	34,0	35,5	55,0	73,0	81,5	84,0	86,5	98,5	99,5	
$\bar{\omega} \cdot 10^{-3}, \text{ч}^{-1}$	145,0	147,1	153,8	239,1	317,4	354,3	365,2	376,1	428,2	432,6	
$T_o, \text{ч}$	6,9	6,8	6,5	4,2	3,2	2,8	2,7	2,7	2,3	2,3	

Результаты расчетов средних статистических значений  $\bar{\omega}$  и  $T_o$  судовых ЭП ЯШМ и ГПМ сведены в таблице 5-таблице 8.

Таблица 5 – Количественные значения безотказности ЭП комбинированных якорных устройств транспортных судов

Типы судов	Серии судов	Название судовых механизмов, количество	Значения показателей	
			$\bar{\omega} \cdot 10^{-3}, \text{ч}^{-1}$	$T_o, \text{ч}$
Суда для перевозки генеральных грузов	т/х «Ленинская гвардия»	якорные швартовые лебедки, 2 шт.	200,0	5,0
	т/х «Пионер»	брашпиль, 1 шт.	153,8	6,5
	т/х «Варнемюнде»	якорные швартовые шпили, 2 шт.	144,9	6,9
	т/х «Василий Шукшин»	брашпиль, 1 шт.	108,7	9,2
	т/х «Омск»	брашпиль, 1 шт.	90,9	11,0
Суда для перевозки массовых грузов	т/х «Волголес»	брашпиль, 1 шт.	126,6	7,9
	т/х «Котласлес»	брашпиль, 1 шт.	126,6	7,9
	т/х «Пионер Москвы»	брашпиль, 1 шт.	126,6	7,9
	т/х «Беломорсклес»	брашпиль, 1 шт.	108,7	9,2
	т/х «Мирный»	брашпиль, 1 шт.	72,5	13,8

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Таблица 6 – Количественные значения показателей безотказности ЭП швартовых устройств транспортных судов

Типы судов	Серии судов	Название судовых механизмов, количество	Значения показателей	
			$\bar{w} \cdot 10^{-3}, \text{ч}^{-1}$	$T_o, \text{ч}$
Суда для перевозки генеральных грузов	т/х «Ленинская гвардия»	швартовые лебедки, 4 шт.	333,3	3,0
	т/х «Пионер»	швартовый шпиль, 1 шт.	333,3	3,0
	т/х «Омск»	швартовые лебедки, 4 шт.	303,0	3,3
	т/х «Василий Шукшин»	швартовые лебедки, 3 шт.	263,2	3,8
	т/х «Варнемюнде»	швартовые лебедки, 4 шт.	232,6	4,3
Суда для перевозки массовых грузов	т/х «Пионер Москвы»	швартовые лебедки, 4 шт.	500,0	2,0
	т/х «Беломорсклес»	швартовый шпиль, 1 шт.	303,0	3,3
	т/х «Влас Ничков»	швартовые шпиль, 2 шт.	166,7	6,0
	т/х «Котласлес»	швартовый шпиль, 1 шт.	166,7	6,0
	т/х «Мирный»	швартовый шпиль, 1 шт.	166,7	6,0

Таблица 7 – Количественные среднестатистические значения показателей надежности (безотказности) ЭП ГПМ транспортных судов

Типы судов	Серии судов	Название судовых механизмов, количество	Значения показателей	
			$\bar{w} \cdot 10^{-3}, \text{ч}^{-1}$	$T_o, \text{ч}$
СТС*	т/х «Котласлес»	грузовые краны, 2 шт.	361,8	2,8
	т/х «Омск»	грузовые краны, 12 шт.	288,2	3,5
Суда для перевозки генеральных грузов	т/х «Ленинская гвардия»	грузовые лебедки, 8 шт.	539,1	1,9
	т/х «Варнемюнде»	грузовые лебедки, 8 шт.	376,1	2,7
	т/х «Пионер»	грузовые лебедки, 8 шт.	354,3	2,8
	т/х «Василий Шукшин»	грузовые лебедки, 3 шт.	234,8	4,3
	т/х «Росток»	грузовые лебедки, 4 шт.	156,5	6,4
Суда для перевозки массовых грузов	т/х «Мирный»	грузовые лебедки, 8 шт.	428,2	2,3
	т/х «Беломорсклес»	грузовые лебедки, 8 шт.	317,4	3,2
	т/х «Котласлес»	грузовые лебедки, 6 шт.	239,1	4,2
	т/х «Влас Ничков»	грузовые лебедки, 9 шт.	197,8	5,1
	т/х «Крымск»	грузовые лебедки, 8 шт.	145,0	6,9

\*-сухогрузные транспортные суда

В таблице 8 приведены результаты количественного определения коэффициента отказов  $K_o$  судовых многоскоростных ЭП ЯШМ.

Таблица 8 – Количественные среднестатистические значения показателя безотказности  $K_o$  ЭП ЯШМ транспортных судов

Типы судов	Серии судов	Название судовых механизмов, количество	Среднегодовые значения $K_o$ одного ЭП, %			
			Командо-контроллер	МК*		Прочие элементы
				Реле	Контакты	
Суда для перевозки генеральных грузов	т/х «Ленинская гвардия»	якорно-швартовые лебедки, 2 шт.	13,6	22,7	36,4	27,3
		швартовые лебедки, 4 шт.	10,0	10,0	45,0	35,0
	т/х «Пионер»	брашпиль, 1 шт.	5,9	11,8	47,0	35,3
		швартовый шпиль, 1 шт.	20,0	20,0	30,0	30,0
	т/х «Варнемюнде»	якорно-швартовые шпиль, 2 шт.	–	25,0	37,5	37,5
		швартовые лебедки, 4 шт.	14,3	14,3	28,6	42,8
	т/х «Василий Шукшин»	брашпиль, 1 шт.	–	–	66,7	33,3
		швартовые лебедки, 3 шт.	12,5	12,5	37,5	37,5
	т/х «Омск»	брашпиль, 1 шт.	–	20,0	40,0	40,0
		швартовые лебедки, 4 шт.	11,1	22,3	33,3	33,3

*Продолжение таблицы 8*

Типы судов	Серии судов	Название судовых механизмов, количество	Среднегодовые значения $K_0$ одного ЭП, %			
			Командо-контроллер	МК*		Прочие элементы
				Реле	Контакты	
Суда для перевозки массовых грузов	т/х «Беломорсклес»	брашпиль, 1 шт.	8,3	8,3	50,0	33,4
		швартовый шпиль, 1 шт.	22,2	11,1	44,5	22,2
	т/х «Котласлес»	брашпиль, 1 шт.	14,2	28,6	28,6	28,6
		швартовый шпиль, 1 шт.	–	20,0	40,0	40,0
	т/х «Мирный»	брашпиль, 1 шт.	–	12,5	50,0	37,5
		швартовый шпиль, 1 шт.	–	20,0	40,0	40,0
	т/х «Влас Ничков»	брашпиль, 1 шт.	–	16,7	33,3	50,0
		швартовые шпили, 2 шт.	20,0	20,0	40,0	20,0

\*-магнитный контроллер

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бурков, А.Ф. Повышение эффективности технической эксплуатации судовых электроприводов / А.Ф. Бурков. - Владивосток: МГУ, 2011. -417 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электроприводы, показатели надежности, судовые механизмы

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Бурков Алексей Федорович, канд. техн. наук, доцент, проректор ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

## ОСНОВНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СУДОВЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

ФБОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

**А.Ф. Бурков**

**MAIN SYSTEM DRIVES SHIP AUXILIARY MECHANISMS**

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»  
A.F. Burkov

This article discusses the basic systems of electric drives used in ship auxiliary mechanisms.

*Keywords: marine electric, electric motor, control system, a series of ships*

Рассматриваются основные системы электроприводов, используемых в судовых вспомогательных механизмах.

В настоящее время в состав большинства установленных на судах отечественной и зарубежной постройки электроприводов (ЭП) продолжительных (S1) и нерегулируемых ЭП кратковременных (S2) режимов работы входят электромашинные преобразователи – электродвигатели (ЭД) и относительно простые системы управления (СУ).

Требованиям, предъявляемым к таким ЭП, во многих случаях отвечают ЭД постоянного тока серии ПМ, являющиеся морской модификацией единого ряда отечественных машин постоянного тока серии П, трехфазные асинхронные двигатели (АД) серии 4А [1], заменяющие трехфазные ЭД серии АО2-М [2], односкоростные АД серии МАП.

ЭД серии ПМ, в которых реализован основной конструктивный принцип – минимальная масса на единицу номинального вращающего момента, включают 11 габаритов и охватывают диапазон мощностей от 0,1 кВт до 210 кВт при номинальных частотах вращения 750-

3000 мин<sup>-1</sup>. Допускают длительную работу при напряжении до 320 В. Их ресурс составляет до 12000 ч.

Трехфазные АД серии АО2-М являются модификацией ЭД единой серии АО2. Основные технические данные двигателей серии АО2-М приведены, например, в [3]. Трехфазные АД серии 4А включают 25 габаритов с диапазоном мощностей от 0,1 кВт до 315 кВт при номинальных частотах вращения 600-3000 мин<sup>-1</sup>. Изготавливаются на напряжения 220 В, 380 В и 660 В. Срок службы достигает 20000 ч.

Трехфазные односкоростные АД серии МАП соответствуют требованиям Международной Электротехнической Комиссии (МЭК). Диапазон мощностей односкоростных двигателей серии МАП лежит в пределах от 1,2 кВт до 90 кВт при номинальных частотах вращения 880-1475 мин<sup>-1</sup> [2].

СУ таких ЭП судовых вспомогательных механизмов включают, как правило, магнитные пускатели, предназначенные для автоматизированного включения, отключения и защиты ЭД.

В ЭП постоянного тока используются, например, отечественные неререверсивные магнитные пускатели серии ПП, в которых реализован пуск в функции электродвижущей силы ЭД. Пускатели имеют пять величин и предназначены для работы при напряжениях от 110 В до 320 В. Для реверсивного управления ЭД в судовых ЭП нашли применение реверсивные магнитные пускатели (магнитные станции), например, отечественной серии СМЭ, в которых реализован пуск в функции времени. Пускатели имеют четыре величины и предназначены для работы при напряжениях от 175 В до 320 В.

В судовых ЭП переменного тока широко используются отечественные пускатели серии ПММ неререверсивного и реверсивного исполнений. Пускатели имеют четыре величины и предназначены для работы при напряжениях 220 В и 380 В [2]. У современных судовых ЭП соизмеримой мощности, включающих АД с короткозамкнутыми роторными обмотками, СУ, как правило, реализуют пуск ЭД при пониженном напряжении [4]. У мощных судовых ЭП, включающих АД с фазными роторными обмотками, пуск осуществляется, чаще всего, введением добавочных сопротивлений в роторную цепь.

В состав большинства установленных на судах реверсивных регулируемых многоскоростных ЭП, работающих в режимах S2 и S3, входят ЭД постоянного или переменного тока и различные СУ.

В таких судовых ЭП нашли применение ЭД постоянного тока параллельного (независимого) или смешанного возбуждения. В отечественных ЭП судовых вспомогательных механизмов широко используются ЭД серии ДПМ, являющиеся модификацией серии краново-металлургических ЭД. Серия ДПМ включает десять типоразмеров ЭД с пристроенными тормозами или без них. Диапазон мощностей ЭД составляет от 1,6 кВт до 95 кВт при номинальных частотах вращения 615-1850 мин<sup>-1</sup>. Допускают работу при напряжениях до 450 В. Для мощных судовых ЭП (промышленных механизмов и др.) используются специальные ЭД, например, модификации крановых ЭД серии ДП и др.

Техническая реализация СУ определяется назначением и функциональными особенностями ЭП. Техничко-экономическая оценка и область применения различных систем ЭП приведены в [2] и др.

Большинство СУ судовых ЭП постоянного тока содержат контроллерные или релейно-контакторные схемы, системы «генератор-двигатель» (Г-Д) и др.

Различными регулируемые многоскоростными ЭП (брашпилей, лебедок, шпилей и пр.) с ЭД постоянного тока и контроллерными или релейно-контакторными схемами оснащены преимущественно суда, построенные в СССР и за рубежом до 1970-х годов. К ним относятся серии судов теплоходов (т/х) «Николай Островский» (Бельгия), т/х «Тарту» (ВНР), т/х «Симферополь» (ПНР) и др. [4]. Количество таких ЭП постоянно уменьшается по причине вывода из эксплуатации физически и морально устаревших судов и в связи с внедрением на подавляющем большинстве современных судов переменного тока.

В настоящее время обоснована неперспективность систем Г-Д судовых ЭП в силу ряда существенных недостатков, к которым в первую очередь относятся: низкий коэффициент полезного действия; относительно невысокая их надежность и повышенные эксплуатационные расходы; сравнительно высокие массо-размерные показатели. Только при определенных мощностях, в частности, 40 кВт и выше – для рулевых ЭП, 70 кВт и выше – для ЭП якорно-швартовых механизмов (ЯШМ), масса электрооборудования ЭП системы Г-Д оказывается соизмеримой с массой электрооборудования приводов с ЭД постоянного тока и

релейно-контакторными схемами [5]. Мощности же многих устанавливаемых на судах регулируемых многоскоростных ЭП ниже целесообразных для использования систем Г-Д. Кроме того, несмотря на возможность систем Г-Д ЭП обеспечить высокую плавность регулирования рабочих скоростей в широких диапазонах, в судовых регулируемых ЭП используется, как правило, не более пяти устойчивых скоростей во всем диапазоне регулирования. К исключениям относятся, например, ЭП траловых рыболовных систем, включающие системы Г-Д, которые в настоящее время широко используются на судах рыбопромыслового флота. Например на сейнер-траулерах рефрижераторных т/х «Альпинист» (СССР) установлены широко используемые тралово-сейнерные лебедки ЛЭТРС-2 [6].

Обоснованную конкуренцию ЭП системы Г-Д составляют приводы, выполненные по системе «управляемый выпрямитель-двигатель» (УВ-Д) [2]. Такие регулируемые многоскоростные ЭП установлены, например, на т/х «Алексей Косыгин» (СССР) [7] – для лихтерного крана и др. Однако их внедрение в судовой электротехнике ограничено, так как не исключает наличие машин постоянного тока.

В настоящее время большинство судов оснащено электростанциями трехфазного переменного тока, что наряду с другими причинами, предопределило широкое использование на судах ЭП переменного тока.

В соответствии с классификацией, представленной в [8], судовые ЭП по типу передаточного устройства подразделяются на гидравлические и механические.

В состав гидравлических реверсивных регулируемых ЭП переменного тока входят, как правило, односкоростные асинхронные ЭД с короткозамкнутыми обмотками ротора и относительно простыми релейно-контакторными схемами. Для реверса и регулирования рабочей скорости используются насосы переменной производительности и клапанные коробки.

Гидравлические регулируемые ЭП переменного тока установлены, например, на судах серий т/х «Норильск» (Финляндия), т/х «Аргунь» (Румыния), дизель-электроход (дэ/х) «Витус Беринг» (СССР) и др. [7].

При использовании в ЭП переменного тока механических редукторных передаточных устройств, в состав ЭП входят многоскоростные АД с одной или несколькими отдельными или полюсопереключаемыми обмотками статора и с фазными или короткозамкнутыми обмотками ротора. СУ таких судовых ЭП переменного тока включают контроллерные или релейно-контакторные схемы, системы «инверторный преобразователь частоты-двигатель» (ИПЧ-Д), «непосредственный преобразователь частоты-двигатель» (НПЧ-Д), «тиристорный регулятор напряжения-двигатель» (ТРН-Д) и др. ЭП с многоскоростными АД, имеющими фазные обмотки ротора и контроллерные или релейно-контакторные схемы, нашли применение преимущественно в ЯШМ серий судов постройки ГДР (т/х «Выборг», т/х «Повенец»), Дании (т/х «Белорецк») [4], и др. На т/х серии «Стахановец Котов» (Финляндия) [9] и некоторых др. многоскоростные ЭД с фазными роторами установлены в ЭП грузоподъемных механизмов (ГПМ) [10].

В большинстве реверсивных ЭП судовых механизмов с регулируемой скоростью и с механическими (редукторными) передаточными устройствами установлены и эксплуатируются многоскоростные АД, имеющие отдельные или полюсопереключаемые обмотки статора и короткозамкнутые обмотки ротора [11]. Это обусловлено, прежде всего, рациональными решениями для ЭД в соотношениях чисел полюсов статорных обмоток, кратностей пусковых и максимальных моментов, маховых масс и пр. Такие ЭП входят, например, в состав ЯШМ судов серий т/х «Омск» (Япония), дэ/х «Сахалин» (СССР), т/х «Василий Шукшин» (СССР), ГПМ – судов серий т/х «Крымск» (Румыния), т/х «Варнемюнде» (ГДР), т/х «Ленинская гвардия» (ПНР) и многих др.

Широко используемый в таких судовых ЭП переменного тока единый ряд отечественных трехфазных многоскоростных короткозамкнутых АД с повышенным сопротивлением роторов серии МАП соответствует требованиям МЭК.

Основная серия ЭД МАП включает девять типоразмеров. Предусмотрено исполнение ЭД с пристроенными дисковыми тормозами или без них. Диапазон мощностей двухскоростных ЭД серии МАП лежит в пределах от 0,3 кВт до 100 кВт при номинальных частотах вращения 385-1410 мин<sup>-1</sup>, а трехскоростных – от 2,5 кВт до 90 кВт при номинальных частотах вращения 175-1495 мин<sup>-1</sup> [2].

СУ реверсивных ЭП с многоскоростными АД содержат в большинстве случаев релейно-контакторные схемы, включающие магнитные контроллеры (магнитные станции) и командоконтроллеры, или контроллерные схемы, включающие силовые контроллеры [12]. В на-

стоящее время наибольшее распространение получили релейно-контакторные СУ [13], главным образом по причине возрастания мощностей судовых ЭП.

На некоторых судах нашли применение четырехскоростные ЭП с АД и релейно-контакторными схемами (ЭП кормовых грузовых лебедок больших морозильных рыболовных траулеров «Гермес», «Персей» (ПНР) и др.). На ряде судов, в частности плавбаз, для увеличения числа скоростей установлены отечественные пятискоростные ЭП, включающие два АД (основной и скоростной) и релейно-контакторные схемы управления [14].

Повышение требований к различным судовым ЭП приводит к необходимости поиска новых технических решений. На новый качественный уровень судовые ЭП вышли с развитием теоретических разработок и практическим внедрением полупроводниковой, микропроцессорной и др. техники.

С 1980-х годов к перспективным направлениям стало относиться развитие судовых ЭП по пути расширения областей использования асинхронных частотно-управляемых ЭП с короткозамкнутыми двигателями [14].

Для судовых ЭП с частотным регулированием скорости предусмотрены одно- двух- и трехскоростные ЭД специального конструктивного исполнения. Диапазон мощностей отечественных ЭД серии МАП для частотно-регулируемых ЭП составляет от 1,2 кВт до 52 кВт. Односкоростные ЭД используются в ЭП с изменением частоты в пределах 5-80 Гц, а двух- и трехскоростные – с изменением частоты в пределах 5-20 Гц на обмотке малой скорости [2].

Частотные ЭП, включающие системы ИПЧ-Д, например с тиристорными преобразователями частоты серии SAMI (Финляндия) установлены в ЭП грузовых насосов на судах серии т/х «Григорий Нестеренко» (СССР) [7]. Большую часть логических функций СУ ЭП осуществляют микропроцессоры. Системы ИПЧ-Д, укомплектованные транзисторными преобразователями частоты FREQROL-Z200 (Япония), входят в состав ЭП производственных механизмов супертраулеров типа т/х «Сотрудничество» (Испания) [14].

Судовой частотный ЭП с системой НПЧ-Д на основе отечественных преобразователей частоты серии ТТС был установлен и испытан на рыболовном траулере морозильном (супер) серии «Горизонт» (СССР). ЭП с системами НПЧ-Д, включающими модификации отечественных преобразователей частоты серии ТТС, использованы, например, в ЭП ГПМ на универсальной плавбазе серии «Камчатский шельф»-«Тауйский шельф» (СССР) [14].

В СУ судовых ЭП внедряются и регуляторы напряжения. Например, в ЭП ГПМ судов серии «Черемхово» (Германия) [7] установлены ЭП, включающие трехфазные асинхронные ЭД с фазными роторами и СУ с ТРН (системы ТРН-Д) [14].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Асинхронный двигатель серии 4А: справочник / А.Э. Кравчик [и др.]. -СПб.: Техн. кн., 2002. -504 с.
- 2 Богословский, А.П. Судовые электроприводы. Т.1: справочник / А.П. Богословский; науч. ред. А.К. Юдин. -Л.: Судостроение, 1983. -352 с.
- 3 Гусельников, Э.М. Новая серия электродвигателей для судов морского и речного флота / Э.М. Гусельников, В.Д. Бородин. -М.: ЦБНТИ ММФ, 1970. -14 с. -(№14 (214)).
- 4 Бурков, А.Ф. Обзор основных систем судовых электроприводов и их компонентов / А.Ф. Бурков // FEBRAT-11. - Владивосток, 2011. -С. 185-187.
- 5 Электродвижение судов и электропривод судовых механизмов / В.А. Михайлов [и др.]. -Л.: Судостроение, 1965. -608 с.
- 6 Быховский, Ю.И. Электрооборудование судов рыбной промышленности / Ю.И. Быховский, Е.А. Шеинцев. -Л.: Судостроение, 1976. -352 с.
- 7 Морские транспортные суда России: каталог / Е.П. Афанасьев [и др.]. -СПб.: ЦНИИМФ, 1995. -745 с.
- 8 Бурков, А.Ф. Повышение эффективности технической эксплуатации судовых электроприводов / А.Ф. Бурков. - Владивосток: МГУ, 2011. -417 с.
- 9 Морские сухогрузные транспортные суда: каталог / Ю.Г. Барановский [и др.]. -Л.: Транспорт, 1985. -624 с.
- 10 Козлов, М.Ю. Устройство и опыт эксплуатации электрооборудования козловых кранов судов типа «Стахановец Котов» / М.Ю. Козлов, А.Б. Хайкин. -М.: В/О «Мортехинформреклама», 1986. -(Вып. 18 (638)).
- 11 Бурков, А.Ф. Анализ работы судовых электроприводов с регулируемой скоростью / А.Ф. Бурков // FEBRAT-05. - Владивосток, 2005. -С. 72-74.
- 12 Бурков, А.Ф. Некоторые проблемы эксплуатации судовых электроприводов и пути их решения / А.Ф. Бурков // Техническая эксплуатация флота. Пути совершенствования. Флот-05 / МГУ им. адм. Г.И. Невельского. -Владивосток, 2005. -С. 145-149.
- 13 Михайлов, С.А. Обзор методов и систем управления асинхронными электроприводами судовых механизмов / С.А. Михайлов. -М.: В/О Мортехинформреклама, 1986. -(Вып. 17 (637)).
- 14 Бурков, А.Ф. История отечественных судовых электроприводов / А.Ф. Бурков. -Владивосток: Дальрыбвтуз, 2008. -380 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** судовые электроприводы, электродвигатель, система управления, серии судов  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Бурков Алексей Федорович, канд. техн. наук, доцент, проректор ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»



## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СУДОВОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

ФБОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

В.В. Миханошин

### FEATURES OF THE ELEMENTS OF POWER CONVERTERS SHIP COMBINED POWER PLANT

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

V.V. Mikhanoshin

The article considers the particular choice of filter frequency reactive elements transducers combined ship power plant.

Keywords: inductive filter, parallel to the work, charging the capacitor, overload, inrush current

Рассматриваются особенности выбора реактивных элементов фильтров полупроводниковых преобразователей судовой комбинированной энергоустановки.

Силовыми преобразователями проектируемой комбинированной энергетической установки (КЭУ) электроходного типа для малотоннажного судна внутривортового и прибрежного плавания являются (рисунок 1): трехфазный мостовой неуправляемый выпрямитель (НВ), инвертор (И), Г-образный индуктивно-емкостной фильтр (Ф1 и Ф2) и двухсторонний импульсный преобразователь (ДИП).

Наибольший интерес в данной схеме представляет Г-образный LC-фильтр Ф1. Причина этого заключается в следующем. В режиме параллельной работы НВ и ДИП на инвертор (режим «1») элементы фильтра Ф1 рассчитываются независимо друг от друга по разным методикам и самого LC-фильтра как такового нет, а есть два источника напряжения, причем один из них имеет на выходе индуктивный фильтр ( $L_1$ ), а второй – емкостной

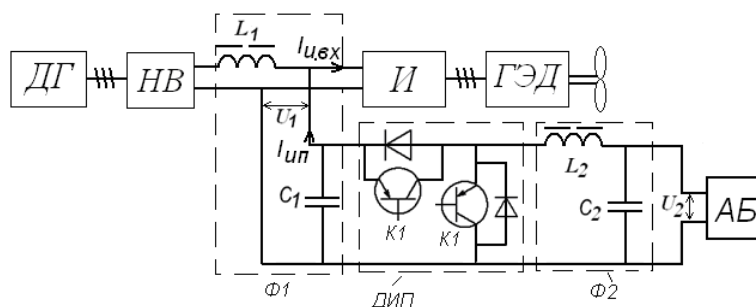


Рисунок 1 – Силовая схема КЭУ: ДГ-дизель-генератор; ГЭД-гребной электродвигатель; АБ-аккумуляторная батарея

( $C_1$ ). Основная цель расчета этих двух элементов состоит в том, чтобы ограничить пульсации выходного напряжения и тока источников на заданном уровне, а также обеспечить непрерывность входного напряжения  $U_1$  и тока инвертора. Уровень пульсаций выходного напряжения  $\Delta U_1$  и тока ДИП в режиме «1» и при одиночной работе на инвертор (режим «2») определяется как емкостью  $C_1$  так и индуктивностью  $L_2$ .

По ряду причин [1] на выходе НВ выбран фильтр индуктивного типа. Последний обеспечивает при работе выпрямителя на нагрузку индуктивную реакцию, имеет большее внутреннее сопротивление по сравнению с выпрямителями с емкостным фильтром, ограничивает импульс тока через диоды при включении выпрямителя в питающую сеть.

Известно, что сглаживающее действие (коэффициент сглаживания  $S$ ) индуктивного фильтра при увеличении сопротивления нагрузки уменьшается. Поэтому при минимальной нагрузке, то есть максимальном значении сопротивления нагрузки  $R_{H,max}$  и следует рассчитать индуктивность  $L_1$ . При этом, несмотря на предположение, что ДГ независимо от развиваемой ГЭД мощности всегда будет работать в режиме близком к номинальному, в качестве  $R_{H,max}$  следует взять величину с запасом, например двукратным относительно номинального значения  $R_{H,nom}$ , то есть  $R_{H,max} = 2 \cdot R_{H,nom}$ . А наибольшая емкость  $C_1$  выходного емкостного фильтра ДИП, работающего в повышающем режиме на инвертор И, при заданном уровне пульсаций выходного напряжения требуется напротив, при максимальном токе нагрузки.

В режиме работы НВ на инвертор и заряд АБ (режим «3»), а также режиме работы НВ только на заряд АБ (режим «4») из элементов  $L_1$  и  $C_1$  образуется Г-образный индуктивно-

емкостной фильтр  $L_1C_1$ . Известно, что при мгновенном уменьшении тока нагрузки за счет накопленной в индуктивности энергии на выходном конденсаторе образуется выброс напряжения  $\Delta U_c$ , способный вывести его из строя. Поэтому для предотвращения такого случая рациональным выбором типа конденсатора, то есть его номинальной емкости и напряжения необходимо обеспечить  $\Delta U_c$  на заданном уровне.

Как было упомянуто выше, в рассматриваемой схеме КЭУ предполагается, что ДГ при любой скорости судна всегда будет работать в номинальном или близком к нему режиме. Для этого управление ДИП и инвертором должно производиться одновременно. Несмотря на это следует предусмотреть случай, когда в КЭУ, работающей в режиме «3», при резком уменьшении потребляемой мощности одним потребителем ее наброс на второй потребитель происходит с некоторой задержкой. Формируемый при этом выброс напряжения  $\Delta U_c$  будет являться входным напряжением соответствующего преобразователя, который также должен быть на него рассчитан.

В рассматриваемой схеме следует исследовать:

- процесс заряда конденсатора  $C_1$ , возникающие на нем перенапряжения в процессе включения и импульс (бросок) зарядного тока;
- выброс напряжения на конденсаторе  $C_1$  при резком уменьшении тока нагрузки.

Известно, что в емкости не может измениться скачком напряжение, а в индуктивности – ток. Поэтому также представляет интерес исследования параллельной работы источников (режим «1»), одного с индуктивным выходным фильтром, а другого – с емкостным в переходных режимах, то есть при изменении нагрузки на гребном валу.

Г-образный индуктивно-емкостной фильтр является фильтром второго порядка, и, следовательно, при определенных условиях возможно возникновения переходных процессов колебательного характера. Проведем частотный анализ свойств фильтра Ф1 с помощью операторного метода (рисунок 2).

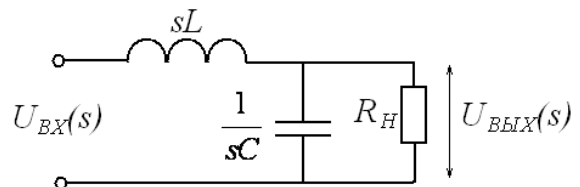


Рисунок 2 – Схема LC-фильтра в операторной форме

Передаточная функция фильтра «выход-вход» имеет вид

$$W(s) = \frac{U_{\text{ВЫХ}}(s)}{U_{\text{ВХ}}(s)} = \frac{1}{s^2 \cdot L \cdot C + \frac{s \cdot L}{R_H} + 1} \quad (1)$$

Расчетные значения параметров реактивных элементов, определенных по известным методикам [2, 3] составляют:  $C_1 = 696,5$  мкФ;  $L_1 = 61,6$  мГн;  $R_{H,\text{max}} = 11,612$  Ом.

На рисунке 3а изображены две логарифмические амплитудно-частотные характеристики (ЛАЧХ), соответствующие номинальному (кривая 1) и максимальному (кривая 2) сопротивлению  $R_H$ , а на рисунке 3б – фазо-частотные характеристики (ФЧХ) при том же обозначении.

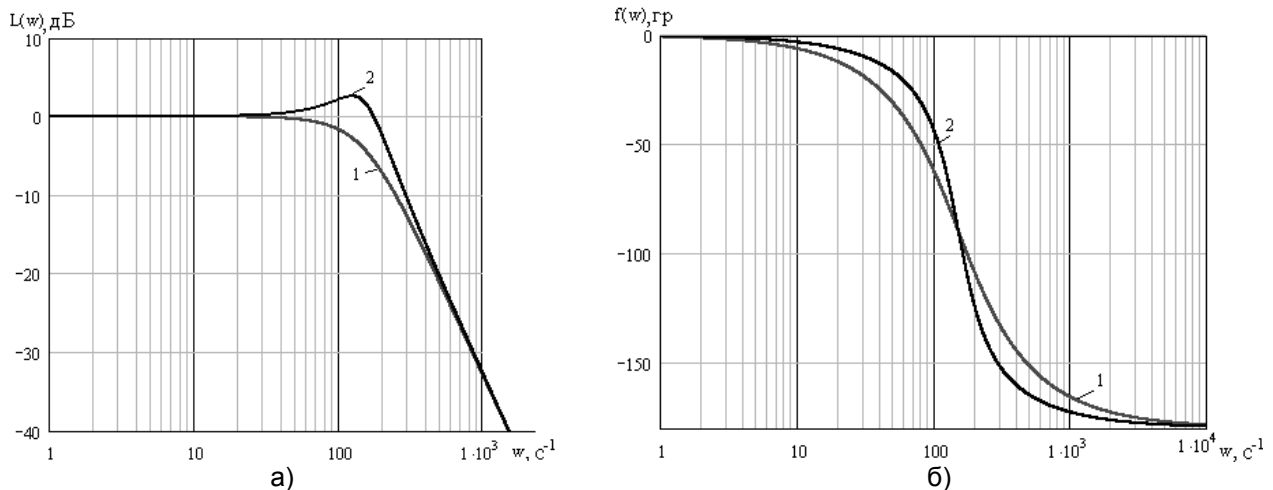


Рисунок 3 – ЛАЧХ (а) и ФЧХ (б) Г-образного фильтра  $L_1C_1$

Резонансная (собственная) частота LC-фильтра определяется согласно выражению

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad (2)$$

получим  $\omega_0 = 152,668 \text{ с}^{-1}$ .

Из рисунка 3а видно, что при уменьшении тока нагрузки в кривой  $L(\omega)$  при резонансной частоте появляется «горб», максимальное значение которого составляет 2,7 дБ/дек. Наклон ЛАЧХ в высокочастотной части равен -40 дБ/дек, первая гармоника трехфазного мостового выпрямителя, круговая частота которой равна

$$\omega = 2\pi \cdot m \cdot f_c,$$

где  $m$  – число пульсаций в кривой выходного напряжения за период входного;

$f_c$  – частота напряжения ДГ, Гц;

эффективно подавляется фильтром. Фазовая характеристика при увеличении частоты стремится к углу  $-\pi$ , но никогда не превзойдет его.

Рассмотрены особенности проектирования элементов силовых преобразователей КЭУ. Сформулированы задачи, которые необходимо исследовать при разработке рассматриваемой силовой схемы. Исследованы частотные характеристики Г-образного фильтра  $L_1C_1$  с помощью операторного метода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Режим доступа: [http://window.edu.ru/window/library/pdf2txt?p\\_id=34727&p\\_page=4](http://window.edu.ru/window/library/pdf2txt?p_id=34727&p_page=4)
- 2 Muhammad, H.R. Power electronics handbook / H.R. Muhammad; University of West Florida. -2001. -895 с.
- 3 Семенов, Б.Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов / Б.Ю. Семенов. -М.: СОЛОН-Р, 2001. -321 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *индуктивный фильтр, параллельная работа, заряд конденсатора, перенапряжение, бросок тока*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Миханшин Виктор Викторович, старший преподаватель ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ АВАРИЙНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ АЛГОРИТМОВ**

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**В.Ф. Тонышев, А.К. Жунусов**

### **IDENTIFICATION EMERGENCY AND OPERATIONAL MODES THE SYNCHRONOUS CAR ON THE BASIS OF INDISTINCT ALGORITHMS**

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.F. Tonishev, A.K. Zhunusov

The algorithm of realization of the identifier normal and emergency operation of synchronous cars on the basis of indistinct logic is resulted.

*Keywords: synchronous car, the indistinct logic*

Приведен алгоритм реализации идентификатора нормальных и аварийных режимов синхронных машин на базе нечёткой логики.

Системы на основе нечеткой логики и теории нечетких множеств [1] находят успешное применение в задачах, решение которых с помощью традиционных методов является сложным или невозможным. Способность данных систем оперировать сложными нелинейными функциями может быть применена в решении задач идентификации. Важным фактором при построении подобных систем является выбор входных переменных и их оптимального количества.

Поскольку синхронные двигатели имеют более представительный набор эксплуатационных и аварийных режимов дальнейший материал иллюстрирует именно их режимы.

Абсолютно достоверную информацию о возникновении асинхронного режима (АР) выдают устройства контроля комплексного сопротивления синхронной машины (реле сопротивления), либо проводимости при их соответствующей настройке [2, 3]. Причем контроль

проводимости предпочтителен как при настройке выявителей АР (при  $U = 1$  о.е. область настройки соответствует токовым частотным характеристикам (ЧХ) синхронной машины) так и при визуальном анализе годографа параметра (в области полной проводимости компактно изображаются эксплуатационные и аварийные режимы и годографы полной проводимости при возникновении АР при различных авариях) [4]. Характер изменения функции проводимости синхронной машины достаточно сложен (рисунок 1). Не является тривиальным и математическое описание её поведения. Однако эксперт, руководствуясь рядом критериев (например, скорость и диапазоны изменения функции проводимости) способен определить режим, для которого она построена.

В качестве входных переменных системы нечеткой идентификации на основе нечеткой логики и теории нечетких множеств приняты функции, характеризующие вектор проводимости  $\underline{Y}$   $\underline{Y}$ :

1  $\text{Re}\underline{Y}$  – действительная составляющая вектора проводимости, которая может быть рассчитана по осциллограммам режимных параметров  $P(t), U(t), Q(t)$ , полученным из натуральных экспериментов

$$\text{Re}\underline{Y}(t) = \frac{P(t)}{\dot{U}^2(t)}, \text{ о.е.};$$

2  $\text{Im}\underline{Y}$  – мнимая составляющая вектора проводимости, определяемая из соотношения

$$\text{Im}\underline{Y}(t) = \frac{Q(t)}{\dot{U}^2(t)}, \text{ о.е.};$$

3  $\underline{Y}'(t)$  -переменная, характеризующая скорость изменения проводимости;

4  $\varphi(t)$  -фаза вектора проводимости, рад.

На основе экспертной оценки по известным экспериментальным и расчетным осциллограммам (результаты обработки которых приведены на рисунке 1) изменения основных режимных параметров формируются функции принадлежности термов лингвистических переменных. Для каждого режима устанавливаются правила нечеткого вывода.

Одним из возможных вариантов построения системы нечеткой идентификации режимов работы СД является система, в которой вывод о наличии того или иного режима осуществляется не только по абсолютным значениям четких значений входных переменных, но и их изменению во времени. Моделирование данной системы осуществлялось в программе fuzzyTECH 5.5 (рисунок 2).

В блоках RB1-4 выводятся правила нечеткой продукции, устанавливающие зависимость между входными переменными  $\text{Im}\underline{Y}, \text{Re}\underline{Y}, \underline{Y}', \varphi$  и переменной времени  $t_1$ , которая отсчитывается после фиксации АР ( $\delta \geq 180^\circ$ ) [2]. В блоке RB5 осуществляется нечеткий вывод по времени наступления АР.

Все четко заданные функции входных переменных после процедуры фаззификации представляются в виде нечетких лингвистических переменных. Каждая лингвистическая переменная представлена рядом термов. Для входных переменных это пять треугольных функций принадлежности (ФП), каждая из которых характеризует величину входной переменной:

- очень низкая (very\_low);
- низкая (low);
- средняя (medium);

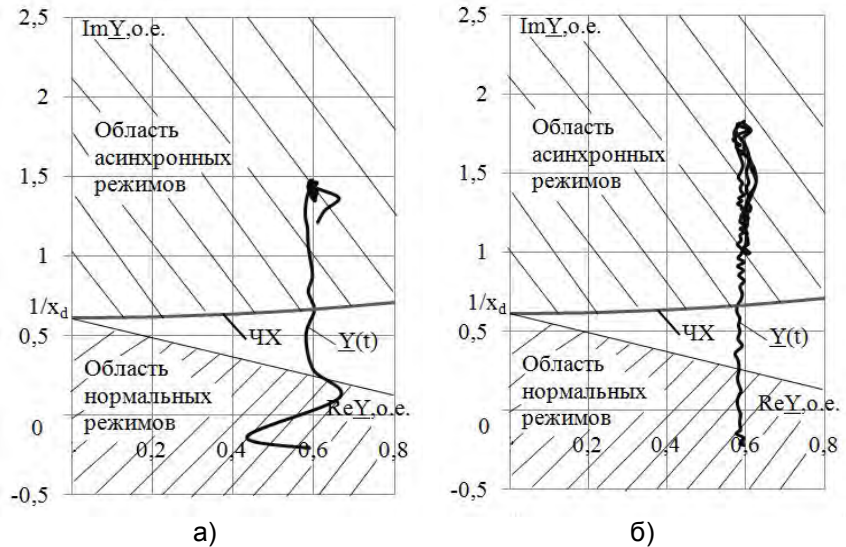


Рисунок 1 – Годографы векторов проводимости синхронного двигателя СТД-1250: а)-при разрыве обмотки возбуждения; б)-при частичной потере возбуждения

- высокая (high);
- очень высокая (very\_high).

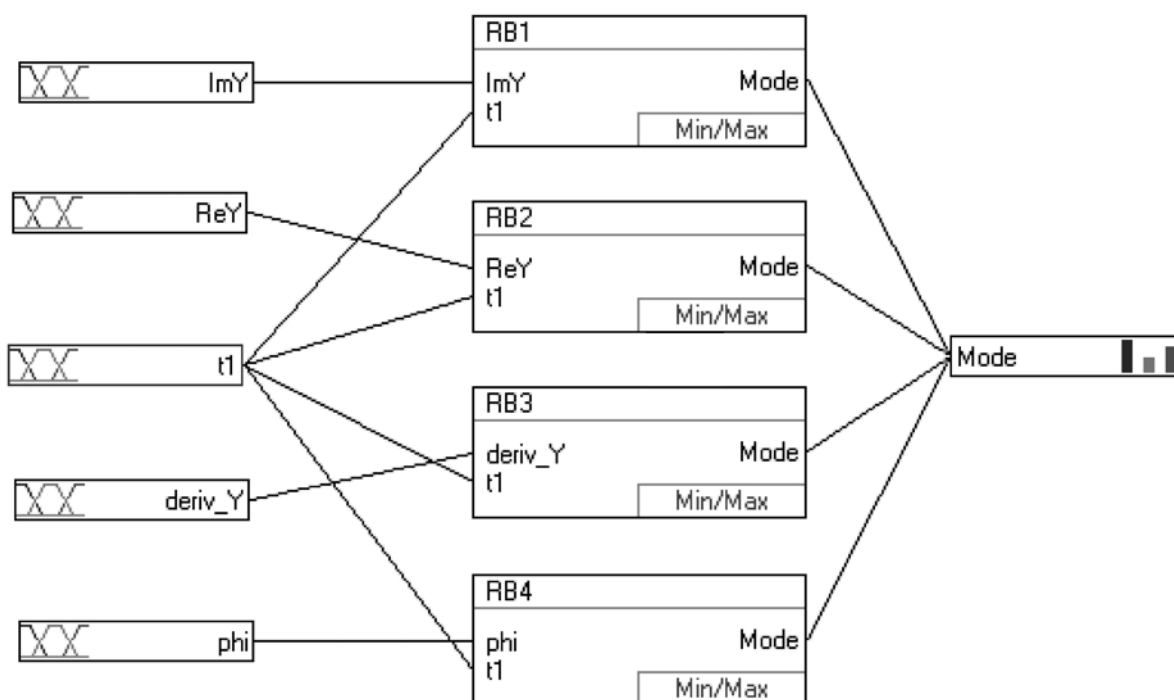


Рисунок 2 – Структура системы нечеткой идентификации режимов работы СД в программе fuzzyTECH 5.5

Переменная  $\varphi(t)$  описывается следующими термами (рисунок 3):

- отрицательная низкая (very\_negative);
- отрицательная (negative);
- около нуля (zero);
- положительная (positive);
- положительная высокая (very\_positive).

Термы выходной лингвистической переменной «Режим» (Mode) представлены в виде ряда непересекающихся ФП. Каждому терму выходной переменной соответствует определенных режим работы СД. На основе натуральных осциллограмм СД типа СТД-1250 было произведено исследование годографов векторов проводимости при следующих режимах работы (в скобках – имя соответствующего терма для системы нечеткой идентификации):

- эксплуатационный режим (ER);
- отключения устройства автомата гашения поля (OAGP);
- затянувшийся пуск (ZP);
- инвертирование возбуждения (IV);
- самозапуск (S);
- разрыв обмотки возбуждения (ROV);
- частичная потеря возбуждения (CHPV);
- короткое замыкание на кольцах ротора (KZ).

Предложенная система нечеткой идентификации может применена как в качестве органа индикации режимов работы СД, так и в качестве измерительного органа защиты от АР синхронных машин.

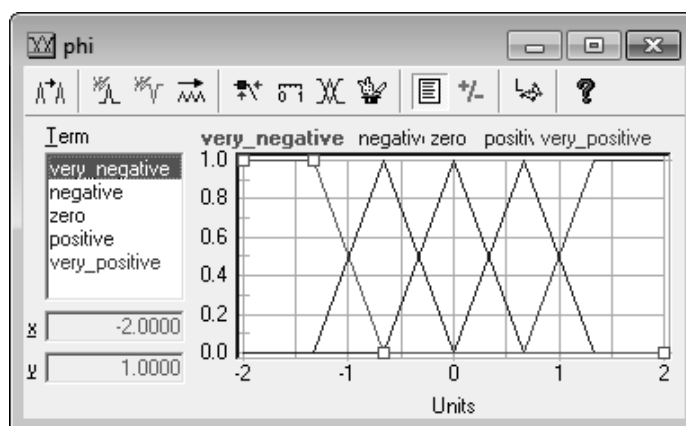


Рисунок 3 – Окно редактора лингвистической переменной  $\varphi$  в программе fuzzyTECH 5.5

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. -СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 736 с.: ил.
- 2 Гамм, Б.З. Выявление асинхронного режима генератора по сопротивлению, измеренному на его выводах / Б.З. Гамм, В.Ф. Тонышев // Электричество. -1986. -№1. -С. 9-15.
- 3 Гамм, Б.З. Выявитель асинхронного режима по фазовому углу синхронной машины / Б.З. Гамм, В.Ф. Тонышев // Пром. энергетика. -1985. -№6. -С. 21-26.
- 4 Тонышев, В.Ф. Идентификация неустойчивости синхронных машин в энергосистеме / В.Ф. Тонышев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№1. -С. 355-357.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *синхронная машина, нечёткая логика*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Тонышев Владимир Федорович, канд. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

*Жунусов Алибек Казбекович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## **ПОДГОТОВКА СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКОВ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ**

**ФБОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»**

**В.Ф. Веревкин**

### **EDUCATION OF SHIP'S ELECTRO-TECHNICAL OFFICERS AT PRESENT TIME**

**«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»  
V.F. Verevkin**

This article is devoted to the peculiarities of education of ship's electro-technical officers at present time according to new demands.

*Keywords: training, state standart, electro-technical officer, exploitation, competency*

Рассматриваются особенности подготовки судовых электромехаников (специалистов) в свете требований нового государственного образовательного стандарта и международной конвенции.

Подготовка судовых электромехаников с высшим образованием для торгового флота началась в нашей стране в Ленинграде с основанием в 1944 году высших мореходных училищ (впоследствии высших инженерных морских училищ). Во Владивостоке электромеханический факультет был открыт только в 1961 году, в то время как инженеров-электромехаников уже готовили в Ленинграде (ЛВИМУ имени адм. С.О. Макарова) и в Одессе (ОВИМУ).

Эксплуатация современных судов, имеющих высокую энергооснащенность, немыслима без высококвалифицированных специалистов в области судовой электроэнергетики и электротехники, тем не менее в конце двадцатого века в определенных кругах пришедших к руководству морским транспортом деятелей, возникло мнение, что на судах в большинстве случаев электромеханики уже не нужны, так как достаточная степень надежности судового электрооборудования, высокий уровень автоматизация и дублирование многих электроприводов, могут позволить обойтись на судне без электромехаников, на подготовку которых приходится затрачивать материальные и интеллектуальные средства.

Такое отношение сверху к электромеханикам (не только в отечественных вышестоящих кругах) привело к тому, что в некоторых судоходных компаниях стали отказываться от включения электромехаников в состав судовых экипажей. Электромеханикам предлагалось пройти дополнительную судомеханическую подготовку, чтобы они на судне несли вахту как вахтенные механики и в свободное от вахты время отвечали за поддержание судового электрооборудования в нормальном эксплуатационном состоянии.

Ничего хорошего из этого не вышло. Конкурс в вуз на электромеханическую специальность упал, возросло отчисление курсантов из вуза, так как при низком конкурсе курсанты не могли осваивать сложную программу подготовки инженеров-электромехаников. А, главное, из-за не востребоваемости на флоте у курсантов-электромехаников исчезла мотивация к обучению. В конце XX и начале XXI века были годы, когда вузы совсем не получали заявок от судоходных компаний на молодых специалистов-электромехаников. Этому способствовало также резкое сокращение количества судов в отечественных парокходствах. При этом оставшиеся без работы судовые экипажи на время перенасытили рынок труда. Например, Дальневосточное морское пароходство, ранее бывшее основным получателем выпускников-

электромехаников МГУ имени адм. Г.И. Невельского, сократилось по количеству судов почти в 15 раз!

На фоне этой ситуации руководство МГУ закрыло электромеханический факультет, а подготовку одной группы электромехаников стали осуществлять в составе судомеханического факультета. Из этой группы до выпуска доходили единицы, а в 2006 году не было выпущено ни одного электромеханика!

Такая ситуация длилась недолго. Опытные электромеханики сумели устроиться на суда под чужим флагом, поступление молодых специалистов резко сократилось. Многие судовладельцы на горьком опыте убедились в том, что нормальная техническая эксплуатация судна без штатных электромехаников невозможна. Не раз бывали случаи, когда судно не могло выходить в море из-за отсутствия в отделах кадров судоводных компаний электромехаников, поэтому заявки от судоводных компаний на выпускников-электромехаников стали в несколько раз превышать их выпуск. Стал расти конкурс среди абитуриентов, желающих поступить на электромеханическую специальность. В 2010 году в МГУ имени адм. Г.И. Невельского электромеханический факультет был восстановлен.

Существенным фактором, способствующим восстановлению престижа судового электромеханика, стало проведение 21-25 июня в Маниле (Филиппины) под эгидой ИМО (международной морской организации) дипломатической конференции Сторон Международной Конвенции 2010 года. Задачей конференции явилось принятие поправок к ПДНВ-78 (Подготовка и дипломирование моряков и несение вахты) и к Кодексу по подготовке и дипломированию моряков и несению вахты. Заключительный акт был подписан представителями 82 государств, являющимися Сторонами Конвенции, включая представителей Российской Федерации. В составе российской делегации был ректор МГУ имени адм. Г.И. Невельского С.А. Огай.

Манильские поправки вносят несколько наиболее существенных изменений в Кодекс, к числу наиболее существенных изменений, оказавших влияние на подготовку электромехаников, было введение в перечень лиц командного состава судна электромехаников (electrotechnical officer), а также судовых электриков (electro-technical rating). Были определены обязательные виды подготовки лиц командного состава, в том числе электромехаников, которые они должны иметь для получения соответствующих дипломов о компетентности с целью работы на морских судах.

Новым правилом III/5 введены стандарты компетентности для электромехаников на уровне эксплуатации и порядок их дипломирования. Предусмотрено, что общее время подготовки в мастерских и на судне для получения диплома электромеханика должно быть не менее 12 месяцев, из которых не менее 6 месяцев во время плавания судна с выполнением обязанностей по эксплуатации судового электрооборудования, что должно быть документально подтверждено в одобренной Книге регистрации подготовки, в противном случае стаж плавания должен быть установлен не менее 30 месяцев.

В стандарты компетентности лиц командного состава на уровнях управления и эксплуатации введены новые компетенции, знания и умения, предусматривающие различные виды подготовки, вызванные внедрением на современных судах новых технологий и сложного современного оборудования.

Практически одновременно с принятием Манильских поправок в нашей стране велась разработка новых (третьих) федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО), в том числе по направлению подготовки (специальности) 180407 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» (квалификация: специалист). Этот документ был зарегистрирован в Минюсте РФ 15 марта 2011 г. №20120 и утвержден Приказом Министерства образования и науки РФ 23 декабря 2010 г. №2026.

В новом ГОС представлена совокупность требований, обязательных при реализации основных образовательных программ подготовки специалистов по специальности 180407 всеми вузами на территории Российской Федерации, имеющими государственную аккредитацию. В этом ГОС срок подготовки электромехаников установлен на пять лет, а трудоемкость освоения основной образовательной программы оценена в 300 зачетных единиц. Одна зачетная единица соответствует в среднем 36 академическим часам.

В этом ГОС установлена обширная область профессиональной деятельности специалистов, которая включает в себя техническую эксплуатацию электрооборудования и средств автоматики судов морского, речного, рыбопромыслового, технического и специализирован-

ного флотов, кораблей и военно-вспомогательных судов, в том числе электрооборудования ядерных энергетических установок. Специалист по специальности 180407 в соответствии с фундаментальной и специальной подготовкой готовится к различным видам профессиональной деятельности, а именно: эксплуатационно-технологической и сервисной; организационно-управленческой; проектной; производственно-технологической; научно-исследовательской и научно-педагогической.

Такой широчайший спектр задач, связанных с установленной образовательным стандартом областью деятельности специалистов, ставит перед образовательными учреждениями очень сложные задачи, так как по новому ГОС срок обучения электромехаников сокращен на шесть месяцев, а требования к условиям реализации образовательных программ и к оценке качества освоения этих программ повышаются.

В связи с тем, что подавляющее число специалистов в настоящее время трудоустраивается на суда иностранных компаний, подготовка электромехаников должна производиться с учетом требований международных документов, в первую очередь с Международной конвенцией о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты (ПДМНВ). В основном уровень подготовки судовых электромехаников соответствует тем квалификационным требованиям, которые предъявлялись к инженерам-электромеханикам прежними государственными образовательными стандартами и совершенствовались по мере научно-технического прогресса.

В новой редакции ПДМНВ (Раздел А-III/6) появились требования к компетентности судовых электромехаников к эксплуатации и техническому обслуживанию высоковольтного (свыше 1000 В) оборудования, обслуживанию судовых компьютерных сетей, навигационного оборудования мостика (электро- и радионавигационных приборов) и судовых систем связи, систем безопасности и т.п.

Все вышеизложенное говорит о необходимости дальнейшего совершенствования образовательного процесса в вузах, ведущих подготовку специалистов-электромехаников для работы на судах.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** подготовка, государственный стандарт, электромеханик, эксплуатация, компетентность  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Вережкин Владимир Федорович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ОБМОТКИ ЯКОРЯ ГЕНЕРАТОРА ГП-311Б**

**ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет»**

**А.Н. Хуснутдинов, Р.Г. Идиятуллин, А.М. Вдовин, А.В. Попов**

**RESEARCH OF INFLUENCE OF OPERATIONAL FACTORS ON A TEMPERATURE FIELD OF A WINDING OF AN ANCHOR OF THE ГП-311Б GENERATOR**

**«Kazan state power engineering university»**  
A.N. Khusnutdinov, R.G. Idiyatullin, A.M. Vdovin, A.V. Popov

The technique of creation of regression model taking into account the following factors is developed: current of loading of the generator, temperature of air, consumption of air of system of ventilation of the generator.

*Keywords: electric cars, heating, modeling, generator*

Разработана методика построения регрессионной модели с учетом следующих факторов: тока нагрузки генератора, температуры окружающего воздуха, расхода воздуха системы вентиляции генератора.

Для описания критической области эксплуатационных факторов были приняты основные из них, существенно влияющие на работу генератора и приводящие к перегреву изоляции обмотки якоря.

К ним относятся:

$x_1$  – ток нагрузки генератора, А;



$x_2$  – температура окружающего воздуха, °С;

$x_3$  – расход воздуха системы вентиляции генератора, м<sup>3</sup>/сек.

Так как рассматривается трехфакторный эксперимент, тогда количество проделанных экспериментов  $2^3 = 8$ .

Результаты экспериментов сведены в матрицу планирования (таблица), в которой даны кодовые обозначения независимых переменных и их сочетание.

Так как, в данной задаче исследуется критическая область, то необходимо установить определенные уровни факторов, а также интервалы варьирования с учетом допустимой температуры нагрева изоляции обмотки якоря, которая по данным Харьковского завода «Электротяжмаш» равна 120 °С.

Для упрощения расчета таблицы методикой предусматривается переход от натуральных переменных к кодовым по формуле

$$\bar{x}_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}, \quad (1)$$

где  $x_i$  – произвольное значение независимого переменного;

$x_{i0}$  – значение независимого переменного, соответствующего основному уровню;

$\Delta x_i$  – единица варьирования независимого переменного.

По данным опыта получены численные значения коэффициентов регрессий  $b_0, b_2, \dots, b_7$  (таблица).

*Таблица – Матрица планирования экспериментов*

	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1x_2x_3$	
1	+	–	–	–	+	+	+	–	l
2	+	+	–	–	–	–	+	+	a
3	+	–	+	–	–	+	–	+	b
4	+	–	–	+	+	–	–	+	c
5	+	+	+	–	+	–	–	–	ab
6	+	+	–	+	–	+	–	–	ac
7	+	–	+	+	–	–	+	–	bc
8	+	+	+	+	+	+	–	+	abc
	$b_0 = 133,1$	$b_1 = 3,6$	$b_2 = 0,37$	$b_3 = -2,37$	$b_4 = -1,12$	$b_5 = -0,87$	$b_6 = -0,125$	$b_7 = -0,63$	

Уравнение регрессий для расчета температуры нагрева обмотки якоря имеет вид

$$\hat{y} = 133,1 + 3,6 \frac{x_1 - 4000}{500} + 0,37 \frac{x_2 - 37,5}{2,5} - 2,37 \frac{x_3 - 3,5}{0,1} - 1,12 \frac{x_1 - 4000}{500} \cdot \frac{x_2 - 37,5}{2,5} - 0,87 \frac{x_1 - 4000}{500} \cdot \frac{x_3 - 3,5}{0,1} - 0,125 \frac{x_2 - 37,5}{2,5} \cdot \frac{x_3 - 3,5}{0,1} - 0,63 \frac{x_1 - 4000}{500} \cdot \frac{x_2 - 37,5}{2,5} \cdot \frac{x_3 - 3,5}{0,1}. \quad (2)$$

Подставляя значения пределов варьирования в уравнение (2), находим функцию отклика, то есть температуру нагрева обмотки якоря от действия эксплуатационных факторов: тока нагрузки  $x_1$ , температуры окружающего воздуха  $x_2$  и расхода воздуха в системе вентиляции  $x_3$ .

Полученная модель нагревания была проверена на воспроизводимость.

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_1x_3 + b_6x_2x_3 + b_7x_1x_2x_3. \quad (3)$$

В результате установлена погрешность относительно экспериментальных данных, которая достигает 5%.

Таким образом, полученная формула (2) позволяет определить температуру наиболее нагреваемой части обмотки якоря при различных вариантах влияния эксплуатационных факторов. Для упрощения процесса расчета указанных параметров была разработана компьютерная программа.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электрические машины, нагревание, моделирование, генератор

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Хуснутдинов Азат Назипович, ассистент ФГБОУ ВПО «КГЭУ»  
Идиятуллин Ринат Гайсович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «КГЭУ»  
Вдовин Александр Михайлович, соискатель ФГБОУ ВПО «КГЭУ»  
Попов Александр Владимирович, соискатель ФГБОУ ВПО «КГЭУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, ФГБОУ ВПО «КГЭУ»

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

<b>Зачёсов В.П.</b> ПРОБЛЕМЫ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА СИБИРИ.....	5
<b>Зачёсов В.П., Рагулин И.А.</b> РЕКИ СИБИРИ В СОСТАВЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ .....	9
<b>Бунеев В.М., Выдрин Е.О.</b> МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА РЕГИОНА.....	13
<b>Железнов Д.В., Домбровский И.А.</b> ИНТЕГРАЦИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ МОНГОЛИИ В МИРОВУЮ ТРАНСПОРТНУЮ СИСТЕМУ .....	16
<b>Новикова П.И.</b> СОВРЕМЕННОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПОНЯТИЯ «ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ».....	21
<b>Леонтьев Р.Г.</b> ОРГАНИЗАЦИЯ РЫНКА ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ .....	24
<b>Стецюк Н.М.</b> ГОРИЗОНТЫ ВИДЕНИЯ БИЗНЕСА ОАО «РЖД» НА РЫНКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ .....	27
<b>Бендер О.А.</b> КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОЦЕНИВАНИЕ РИСКОВ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ .....	30
<b>Гридасов В.В., Голото П.Е., Молчанов В.С., Полянкин Г.Н., Цибариус Ю.А.</b> ИНЖИНИРИНГ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В ТОННЕЛЕСТРОЕНИИ.....	33
<b>Зачёсов А.В., Рагулин В.И.</b> ВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ И АЗИАТСКОЕ ЗАПОЛЯРЬЕ .....	38
<b>Бунеев В.М.</b> МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕНЕДЖМЕНТА НА РЕЧНОМ ТРАНСПОРТЕ .....	43
<b>Островский А.М., Беляева Т.В., Бондаренко Е.М.</b> ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ТАРЫ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ .....	46
<b>Ивановская Е.А., Сольская И.Ю.</b> ФИНАНСОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ: ДО И ПОСЛЕ РЕФОРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ .....	49
<b>Дементьев А.П., Сокол К.П.</b> ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ЗАТРАТАМИ ПРОМЫШЛЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА.....	52
<b>Давыдов А.В., Попова Н.Б.</b> ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ ТРАНСПОРТНЫХ КОМПАНИЙ .....	55
<b>Тюнюкова Е.В.</b> КОММУНИКАЦИОННОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА.....	60
<b>Якобсон А.Я., Потехина А.М.</b> НЕКОТОРЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В МЕНЕДЖМЕНТЕ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ.....	63
<b>Платов Ю.И.</b> К ВОПРОСУ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБНОВЛЕНИЯ ФЛОТА .....	67
<b>Владимирова Т.А.</b> ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РОССИИ .....	69
<b>Попова Н.Б.</b> ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ В РЕГИОНАХ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ .....	77
<b>Платов А.Ю., Платов Ю.И.</b> О НЕАДЕКВАТНОСТИ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ОПЕРАЦИЙ И ОЖИДАНИЙ.....	81
<b>Кожухарь В.И., Сергеева Т.С., Варчак П.В.</b> ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ АМОРТИЗАЦИИ И ЦЕЛЕВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ «АМОРТИЗАЦИОННОГО ФОНДА».....	84
<b>Кожухарь В.И., Варчак П.В., Варчак А.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СООТНОШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОРТОВ И ПРОВОЗНОЙ СПОСОБНОСТИ ФЛОТА ОТ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ .....	87
<b>Кожухарь В.И., Сергеева Т.С., Варчак П.В.</b> ЭКОНОМИЧЕСКИЙ СМЫСЛ АМОРТИЗАЦИИ.....	90
<b>Борисов А.А., Зырянов В.М., Фюттик И.Г.</b> ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЕМКОСТНОГО И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО НАКОПИТЕЛЯ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ ПЛАВКРАНА .....	92
<b>Уртминцев Ю.Н.</b> ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СХЕМ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ) В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ СУХОПУТНОЙ ОПОРНОЙ СЕТИ.....	96
<b>Ревикатова Н.Ю.</b> ОСОБЕННОСТИ ТОРГОВО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ (НА ПРИМЕРЕ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА И КИТАЯ) .....	99
<b>Шестаков В.Н.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА, СВЯЗАННЫХ С ПЕРЕВОЗКОЙ ПАССАЖИРОВ .....	102

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Карпущенко Н.И., Колмогорова Т.В.</b> ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНВЕСТИЦИЙ В МЕСТА ПЕРЕСЕЧЕНИЙ ЖЕЛЕЗНЫХ И АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ .....	104
<b>Перфильев Е.А.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ СУДОХОДНОЙ КОМПАНИЕЙ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ .....	108
<b>Смирнов В.А., Кузнецов В.Ф., Семенов А.М.</b> ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО РЕМОНТУ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С УЧЕТОМ РИСКОВ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ.....	112
<b>Горегляд И.В., Масленников С.Н.</b> ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТАВКИ НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	117
<b>Еремеев Д.В., Лукичев М.Ю.</b> ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ВОСПРОИЗВОДСТВУ АКТИВНОЙ ЧАСТИ ОСНОВНЫХ ФОНДОВ НА НАУКОЕМКОМ ПРЕДПРИЯТИИ.....	119
<b>Жендарева Е.С.</b> МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА ДОСТАВКИ НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	122
<b>Лукичев М.Ю., Еремеев Д.В.</b> О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ФОРМ И МЕТОДОВ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ.....	125
<b>Трефилова И.А.</b> ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНЫЕ БАЛАНСЫ В СИСТЕМЕ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УЧЕТА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТРАНСПОРТА.....	128
<b>Обухова О.В., Пикалин Ю.А., Рачек С.В.</b> ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИЙ .....	131
<b>Мартынова Д.Э., Щербаков В.А.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАПИТАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ ТРАНСПОРТА .....	133
<b>Дементьев А.П.</b> ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ ЭКОНОМИСТОВ В УСЛОВИЯХ НОВЫХ РЕАЛИЙ РАБОТЫ ФИНАНСОВО- ЭКОНОМИЧЕСКОГО БЛОКА ОАО «РЖД».....	137
<b>Щербаков В.А., Сережин К.А.</b> МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА .....	140
<b>ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО</b>	
<b>Ткаченко В.Я., Лихачева Н.М.</b> ПРИОРИТЕТЫ ПРОЕКТА СЕВЕРО-СИБИРСКОЙ МАГИСТРАЛИ.....	144
<b>Гридасов В.В., Голото П.Е., Молчанов В.С., Полянкин Г.Н., Цибариус Ю.А.</b> О СРАВНЕНИИ МОСТОВЫХ И ТОННЕЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ ВОДОТОКОВ НА ПРИМЕРЕ ПЕРЕХОДА РЕКИ ЛЕНА У ЯКУТСКА .....	147
<b>Дёмин Ю.В., Сычева Н.А., Скотников Д.С., Запрудский А.А., Маслов Г.П., Герасименко А.С.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ КОРРОЗИИ АРМАТУРЫ ПО ВЕЛИЧИНЕ РАСКРЫТИЯ ПРОДОЛЬНЫХ ТРЕЩИН ЗАЩИТНОГО СЛОЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ .....	151
<b>Голышев Н.В., Ботвинков В.М., Моторин С.В., Ботвинков А.В.</b> ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СЕЧЕНИЯ РУСЛА РЕКИ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВОДНЫХ ИЗЫСКАНИЙ.....	155
<b>Голышев Н.В., Ботвинков В.М., Моторин С.В., Ботвинков А.В.</b> ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДОВ И ПОСТРОЕНИЯ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В МНОГОРУКАВНОМ УЧАСТКЕ РЕКИ.....	158
<b>Бик Ю.И., Полунин М.А., Приданова О.В.</b> ОСОБЕННОСТИ РЕЧНЫХ ПРИЧАЛОВ НА ОСНОВЕ ПЛАВСРЕДСТВ, ОТСЛУЖИВШИХ СРОК СВОЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	162
<b>Ткаченко В.Я.</b> ПИОНЕРНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПУТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ НА СЕВЕРЕ.....	166
<b>Буйносов А.П.</b> ВЫБОР ПРОФИЛЯ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВ ВЛ11.....	169
<b>Бик Ю.И., Полунин М.А., Шаталов А.А.</b> КОНСТРУКТИВНЫЕ НЕДОСТАТКИ РЯЖЕВЫХ ПРИЧАЛОВ, ПРОЯВЛЯЮЩИЕСЯ ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗКАХ.....	173
<b>Ситнов А.Н., Кочкурова Н.В.</b> МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПЕРЕНОСА СУДОВОГО ХОДА НА ВОДОХРАНИЛИЩЕ .....	176
<b>Дёмин Ю.В., Сычева Н.А., Скотников Д.С., Запрудский А.А., Маслов Г.П., Герасименко А.С.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ЗАГРУЖЕНИЯ .....	181
<b>Ботвинков В.М., Бессонов В.Ю.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗЛИВА И РАСПРОСТРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ АВАРИЯХ СУДОВ НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ.....	184

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Шестова М.В., Воронина Ю.Е., Ситнов А.Н., Липатов И.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОПУСКОВ В НИЖНИХ БЬЕФАХ ГЭС И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОБЪЕМЫ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ .....	188
<b>Ситнов А.Н., Липатов И.В.</b> МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОБОСНОВАНИЯ ГЛУБИН НА ПОДХОДАХ К СУДОХОДНЫМ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИМ СООРУЖЕНИЯ .....	192
<b>Седых В.А., Бессонов В.Ю.</b> ИСТЕЧЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ ИЗ ТАНКЕРА В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ, ПРИ ЕГО МАНЕВРИРОВАНИИ НА ПОВОРОТЕ РУСЛА РЕКИ.....	194
<b>Седых Н.А.</b> РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЗАНОСИМОСТИ РЕЧНЫХ ЗАТОНОВ.....	196
<b>Гольшев Н.В., Ботвинков А.В., Лапай А.Ю.</b> МЕТОДЫ АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ НА СЛОЖНЫХ УЧАСТКАХ РЕК .....	199
<b>Бессонов В.Ю.</b> ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ИХ ИСТЕЧЕНИЕ ИЗ ОТВЕРСТИЙ .....	204
<b>Спиренкова О.В.</b> СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ НОВОСИБИРСКОГО ГИДРОУЗЛА.....	206
<b>СУДОВОЖДЕНИЕ</b>	
<b>Сичкарёв В.И.</b> АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА СУДНА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ РАЗНОСТЕЙ ВЫСОТ И АЗИМУТОВ ДВУХ СВЕТИЛ .....	210
<b>Ишков В.В., Варлачев Д.А., Меньшиков В.И.</b> АВАРИЙНОСТЬ СУДОВ ДЛЯ СЛУЧАЯ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ .....	215
<b>Саленек В.В.</b> АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММЫ УПРАВЛЯЕМОСТИ СУДНА .....	218
<b>Францев М.Э.</b> ПРОЕКТНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ УРАВНЕНИЯ «МОЩНОСТИ-ХОДКОСТИ» ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА СКОРОСТНОГО СУДНА ИЗ КОМПОЗИТОВ.....	220
<b>Клементьев А.Н., Палагушкин Б.В.</b> ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ СУДНА НА ШИРИНУ ХОДОВОЙ ПОЛОСЫ.....	224
<b>Клементьев А.Н.</b> ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ШИРИНУ ХОДОВОЙ ПОЛОСЫ СУДНА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПОВОРОТОВ.....	226
<b>Палагушкин Б.В., Тихонов В.И.</b> ПРЕОБРАЗОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА-ЛАГРАНЖА ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМЫ СУДНО-ЖИДКОСТЬ.....	228
<b>Комаровский Ю.А.</b> СУТОЧНАЯ НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ЧИСЛА ВИДИМЫХ СПУТНИКОВ СИСТЕМЫ GPS .....	231
<b>Палагушкин Б.В., Тихонов В.И.</b> О ТРАДИЦИОННЫХ НЕТОЧНОСТЯХ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМЫ СУДНО- ЖИДКОСТЬ.....	236
<b>Бимбереков П.А., Андреева С.А., Луцковская М.А., Захарова Н.Д.</b> ПОСТРОЕНИЕ АППРОКСИМАЦИОННЫХ ВЫРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ РАЗДЕЛА «ОСТОЙЧИВОСТЬ» РОССИЙСКОГО РЕЧНОГО РЕГИСТРА ДЛЯ БУКСИРНЫХ СУДОВ.....	239
<b>Бимбереков П.А.</b> ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ БАРЖ-ПЛОЩАДОК ПРОЕКТА №Р-56 В РАЗРЯДЕ ПЛАВАНИЯ «М-СП» РОССИЙСКОГО РЕЧНОГО РЕГИСТРА ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ТРЕБОВАНИЙ К УСКОРЕНИЯМ БОРТОВОЙ КАЧКИ.....	243
<b>Ключко Д.В., Сиротюк А.А., Меньшиков В.И.</b> ДОМИНИРУЕМЫЕ И НЕДОМИНИРУЕМЫЕ РИСКИ ПРИ РАЗРЕШЕНИИ ПРОБЛЕМНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИТУАЦИИ .....	247
<b>Оськин Д.А.</b> ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ МОРСКОГО СУДНА С УЧЕТОМ ДРЕЙФА.....	250
<b>ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА</b>	
<b>Кукис В.С., Романов В.А., Харенко И.А.</b> ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА НА ВПУСКЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСШИРИТЕЛЬНЫХ МАШИН ТЕПЛОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК С РАЗДЕЛЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ СЖАТИЯ И РАСШИРЕНИЯ .....	254
<b>Викулов С.В.</b> АНАЛИЗ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВАЛОВОЙ ЛИНИИ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ.....	257
<b>Викулов С.В.</b> ОЦЕНКА И АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛИКОНОВОГО ДЕМПФЕРА КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ .....	260
<b>Пушнин В.П.</b> ЗАВИСИМОСТЬ СТРОЕНИЯ ЧАСТИЦЫ САЖИ МАЛОЗОЛЬНОГО ТОПЛИВА ОТ САЖЕСОДЕРЖАНИЯ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЯ .....	264
<b>Батухтин А.Г., Пинигин В.В.</b> СПОСОБ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕОЛИТОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ОТ КОТЛОВ С ФАКЕЛЬНЫМ СЖИГАНИЕМ ТОПЛИВА .....	266

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Басс М.С., Варавка А.В.</b> ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ .....	269
<b>Исмаилов Ш.К., Гателюк О.В., Бублик В.В., Золкин А.Л., Селиванов Е.И.</b> СТАТИСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ДЛИНЫ СТЫКОВЫХ ПРОМЕЖУТКОВ РЕЛЬСОВЫХ НИТЕЙ НА ВЕЛИЧИНУ ДИНАМИЧЕСКОГО УДАРА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СКОРОСТЯХ ДВИЖЕНИЯ ЛОКОМОТИВА .....	273
<b>Мироненко И.Г.</b> АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГЛАВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ РЕЧНЫХ СУДОВ .....	277
<b>Шеромов Л.А.</b> «ПАРАДОКСЫ» ВЕКТОРА ПОЙНТИНГА .....	281
<b>Четвериков С.В., Налабордин Д.Г.</b> ОЦЕНКА ИЗНОСА ГРЕБНЕЙ ЦЕЛЬНОКАТАНЫХ КОЛЕС ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДОРОЖНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА .....	282
<b>Андрющенко С.П., Попков В.В., Титов С.В., Юр Г.С.</b> ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОГЕТЕРОГЕННОЙ ЭМУЛЬСИИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С ВОДОЙ .....	285
<b>Токарев А.О., Иванчик С.Н., Макагон Л.Д., Иванчик И.С., Гурин А.М.</b> УЛУЧШЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕРОГО ЧУГУНА ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ .....	287
<b>Ткаленко Н.С.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ .....	291
<b>Сапрыкин Ю.В., Костин В.В., Дуйшеналиев Т.Б.</b> ОБ УСТАНОВЛЕНИИ ВЗАИМОСВЯЗИ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА ПРИ ОТНОСИТЕЛЬНО БОЛЬШИХ ДЛИНАХ ТРЕЩИН В УСЛОВИЯХ ВНЕЦЕНТРОННОГО РАСТЯЖЕНИЯ .....	294
<b>Сапрыкин Ю.В., Костин В.В., Дуйшеналиев Т.Б., Кулаков В.С.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ СИЛЬНОНАПРЯЖЕННЫХ ЗОН В ОСЛАБЛЕННОМ ТРЕЩИНОЙ (НЕТТО) СЕЧЕНИИ ОБРАЗЦА ПРИ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ РАСТЯГИВАЮЩЕЙ НАГРУЗКЕ И ЭКСЦЕНТРИСИТЕТЕ .....	299
<b>Шувалов Г.В., Ильин А.П., Клековкин И.В.</b> ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ НАНОПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ СВОЙСТВ ТОПЛИВО-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	303
<b>Шувалов Г.В.</b> ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СУДОВЫХ ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	306
<b>Шувалов Г.В., Воробьева Л.Б., Мамонов А.А.</b> ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОДГОТОВЛЕННОЙ ВОДЫ .....	309
<b>ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА</b>	
<b>Горелов В.П., Рамазанов М.З., Шкитов Д.А., Дзюба П.А.</b> СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕВЕРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ .....	312
<b>Горелов С.В., Денчик Ю.М., Сальников В.Г., Шкитов Д.А.</b> КОНЦЕПЦИЯ УСТОЙЧИВОСТИ УЗЛА НАГРУЗКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6-35 кВ СЕВЕРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ .....	315
<b>Тихомиров В.А.</b> РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ МОЩНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОСУШИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ СУШКИ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПОДВИЖНОГО СОСТАВА .....	318
<b>Тюков В.А., Замчалкин А.С.</b> СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ .....	321
<b>Малаенко О.А., Петров С.И.</b> ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОВОДЯЩИХ ЧАСТИЦ В ПЕРКОЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ .....	324
<b>Денчик Ю.М., Зубанов Д.А., Клеутин В.И., Руппель А.А., Сидоренко А.А.</b> МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНДУКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ ПО УСТАНОВИВШЕМОМУ ОТКЛОНЕНИЮ НАПРЯЖЕНИЯ В СУДОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ .....	327
<b>Харламов В.В., Шкодун П.К., Ахунов Д.А.</b> ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КОЛЛЕКТОРА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИБОРОМ ПКП-4М .....	330
<b>Денчик Ю.М., Зубанов Д.А., Клеутин В.И., Руппель Е.Ю., Сидоренко А.А., Солодянкин Ю.В.</b> ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ОМСКОГО СУДОСТРОИТЕЛЬНО- СУДОРЕМОНТНОГО ЗАВОДА .....	334
<b>Клеутин В.И.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ «БЕРЕГ-СУДНО» .....	336
<b>Антонов А.И., Денчик Ю.М., Зубанов Д.А., Руппель А.А., Сидоренко А.А.</b> РЕГУЛИРОВАНИЕ УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА .....	339
<b>Пилипенко Т.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В г. НОВОСИБИРСКЕ И НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ .....	341
<b>Денчик Ю.М., Мочалин К.С., Рамазанов М.З., Иванова Е.В., Сарин Л.И.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ПРИСОЕДИНЕНИЯ 10 кВ С ВАКУУМНЫМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ НА КОММУТАЦИОННЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ .....	344
<b>Гарев Н.Н., Иванов П.Ю., Выжимова В.Н., Дульский Е.Ю.</b> АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАШИН ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ФАЗОРАСЩЕПЛЕНИЯ .....	348

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Зайцева Н.М., Исабекова Б.Б.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА.....	351
<b>Манусов В.З., Ядагаев Э.Г.</b> ПОДДЕРЖАНИЕ НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ РЕГУЛЯТОРОМ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ .....	354
<b>Манусов В.З., Александров Н.В.</b> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ.....	358
<b>Красильников Е.Н.</b> АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАБОТЫ НЕЗАЗЕМЛЕННЫХ РЕАКТОРОВ В СОСТАВЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ КОМПЕНСАЦИИ ЛИНИЙ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ .....	361
<b>Глазырин В.Е., Осинцев А.А.</b> СОПОСТАВЛЕНИЕ ОТСТРОЕННОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ ГЕНЕРАТОРА ОТ ВНЕШНИХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ ПРИ НАСЫЩЕНИЯХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА .....	364
<b>Петин В.В., Батухтин А.Г.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДИАФРАГМЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА ДЛЯ СИСТЕМ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ТЭС .....	367
<b>Басс М.С., Поликанова Е.Г., Батухтин С.Г.</b> ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ .....	370
<b>Дзюба П.А.</b> КОНЦЕПЦИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ УЗЛОВ НАГРУЗКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6-35 кВ.....	373
<b>Майшев П.Н.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗНЫХ ЗАЩИТ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ГЕРКОНАХ.....	376
<b>Исмаилов Ш.К., Гателюк О.В., Юрасов Д.В., Юрасов О.Д., Жолдаспаева З.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАПАЗОНА РАЗБРОСА ПАРАМЕТРОВ ТРАВЕРС ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ.....	380
<b>Ткачук Р.Ю., Глазырин А.С., Полищук В.И.</b> ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ .....	384
<b>Вильгельм А.С., Язов А.С.</b> ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ НА ПОЕЗДОУЧАСТКАХ .....	390
<b>Трифонов Р.С.</b> ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКОВ НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМА СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА РАБОТЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ФИДЕРОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ.....	393
<b>Фролова Е.И., Глазырин В.Е.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ НА БЛОКАХ ЛИНИЯ-ТРАНСФОРМАТОР .....	396
<b>Ведерников А.С., Гольдштейн В.Г., Шишков Е.М.</b> МЕТОДИКА РАСЧЁТА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ МНОГОЦЕПНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ .....	400
<b>Анохин Б.А.</b> АНАЛИЗ УРОВНЕЙ НЕСИММЕТРИИ И ОТКЛОНЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ В ПРОТЯЖЕННОЙ СЕТИ ПРИ ПИТАНИИ ТЯГОВОЙ НАГРУЗКИ .....	404
<b>Менакер К.В., Цветаева А.С.</b> ИМПУЛЬСНЫЙ РЕДУКЦИОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ МОЩНОСТИ КАК ОСНОВНОЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ .....	408
<b>Хрущев Ю.В., Боровиков Ю.С., Заповодников К.И., Сулайманов А.О.</b> ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ СХЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ВСЕРЕЖИМНЫХ МОДЕЛИРУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	411
<b>Семёнов Н.Н., Менакер К.В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МОЩНОСТИ ДЛЯ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ПИТАНИЯ, РАЗЛИЧНЫХ УСТРОЙСТВ И ЦЕПЕЙ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ .....	417
<b>Бурков А.Ф., Кузнецов С.Е.</b> ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СУДОВЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ.....	419
<b>Бурков А.Ф.</b> ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ.....	423
<b>Бурков А.Ф.</b> ОСНОВНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СУДОВЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ .....	426
<b>Миханович В.В.</b> ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СУДОВОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ .....	430
<b>Тоньшев В.Ф., Жунусов А.К.</b> ИДЕНТИФИКАЦИЯ АВАРИЙНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ АЛГОРИТМОВ.....	432
<b>Веревкин В.Ф.</b> ПОДГОТОВКА СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКОВ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ.....	435
<b>Хуснутдинов А.Н., Идиятуллин Р.Г., Вдовин А.М., Попов А.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ОБМОТКИ ЯКОРЯ ГЕНЕРАТОРА ГП-311Б .....	437



5 марта 2012 года скоропостижно скончался,  
**МАТИЕВСКИЙ Дмитрий Дмитриевич**

докт. техн. наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники РФ, почетный участник межрегионального редакционного совета журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока». Вся научно-педагогическая деятельность Д.Д. Матиевского связана с Алтайским государственным техническим университетом им. И.И. Ползунова, который он окончил в 1962 г. Здесь он прошел все ступени профессионального роста от ассистента до профессора, заведующего кафедрой ДВС (с 1979 г.), проректора по научной работе (1992-2004 гг.).

Д.Д. Матиевский известен как организатор науки и крупный ученый в области двигателестроения. По этому направлению он создал научную школу, научно-образовательный центр и вместе с учениками активно вел научно-исследовательскую работу. Он создал одну из сильнейших в России по кадровому составу техническую кафедру. Ему принадлежит приоритет в открытии в АлтГТУ докторантуры и диссертационного совета по защите докторских диссертаций. Им подготовлено 8 докторов и 25 кандидатов наук.

Общественная деятельность Д.Д. Матиевского была тесно связана с профессиональной. Он член президиума научно-методического совета по специальности «Двигатели внутреннего сгорания», член координационного совета по энергоресурсосбережению МА «Сибирское соглашение», действительный член Российской Академии транспорта.

Научная и педагогическая деятельность Д.Д. Матиевского получила достойное признание. Он награжден орденом Почета. Указом Президента РФ ему присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки и техники РФ», Президиумом РАН присуждена Государственная научная стипендия. Он награжден Нагрудными знаками «За успехи в научно-исследовательской работе студентов» и «Почетный работник высшего образования России», имеет звание лауреата премии Алтайского края в области науки и техники.

Члены редакционной коллегии журнала, профессорско-преподавательский состав Новосибирской государственной академии водного транспорта скорбят по поводу безвременной кончины Д.Д. Матиевского и выражают искреннее соболезнование родным и близким.

Светлая память о Дмитрие Дмитриевиче Матиевском, настоящем учёном и прекрасном человеке, навсегда сохранится в наших сердцах.

*Редакционная коллегия*

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ  
Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока

Ответственный за выпуск – Коновалов В.В.

Подписано в печать 21.05.2012 г. с оригинал-макета  
Бумага офсетная №1, формат 60x84 1/8, печать трафаретная – Riso.  
Усл. печ. л. 51,7; тираж 1050 экз. Заказ №  
Цена договорная.

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
(ФБОУ ВПО «НГАВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, тел. (383)222-64-68,  
факс (383)222-49-76

Отпечатано в издательстве ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №ФС77-22440 выдано 20.12.2005 г.

ISSN 2071-3827

Подписной почтовый индекс 62390