

## **ИТОГИ РАБОТЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГОСМОРРЕЧНАДЗОРА ЗА 2008 г. И НЕРЕШЕННЫЕ ВОПРОСЫ К НАВИГАЦИИ 2009 г.**

Северо-Восточное управление государственного морского и речного надзора Федеральной службы по надзору в сфере транспорта

**В.И. Стручков**

**RESULTS OF WORK OF NORTHEAST MANAGEMENT GOSMORRECHNADZOR FOR 2008 AND UNRESOLVED QUESTIONS TO NAVIGATION OF 2009**

Northeast GOSMORRECHNADZOR

V.I. Struchkov

Results of work of Gosmorrechnadzora in Northeast pools for 2008 and problems on navigation of 2009 are considered.

Рассматриваются результаты работы Госморречнадзора в Северо-Восточных бассейнах за 2008 г. и задачи на навигацию 2009 г.

Начиная с 2003 года за 5 лет, ежегодно на ВВП России совершается значительное количество транспортных происшествий (ТП). Динамика транспортных происшествий представлена в таблице 1.

После известных событий 2007 года трагедии и гибели судов в Керченском проливе, Федеральной

*Таблица 1 – Динамика транспортных происшествий*

Годы	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Всего ТП, в том числе:	109	118	125	118	92	66
– эксплуатационные происшествия	107	115	121	118	86	65
– аварии	2	3	4	–	6	1

службой по надзору в сфере транспорта Минтранса Российской Федерации совместно с агентством морского и речного флота было разработано ряд организационно-технических мероприятий по ужесточению требований по выходу судов на морские участки, одновременно усилился контроль за работой транспортного флота на внутренних водных путях. Предпринятые меры со стороны судовладельцев, агентства и органов надзора привели к снижению ТП по сравнению с 2007 г. на 28%, в том числе снижены эксплуатационные происшествия на 25%, аварийность снизилась на 74%. Главным итогом навигации 2008 года явилось то, что не допущено гибели и травматизма людей на внутренних водных путях.

В течении 2008 года органами надзора произведена проверка 42782 единиц флота, выявлено 46000 нарушений, принято мер воздействия 32000, устранено нарушений 31862. Принято 27672 мер в отношении выявленных недостатков, в том числе сделано 280028 записей в ЕКО; временно запрещалась эксплуатация 3409 судов, направлено 201 материалов в суд, оштрафовано 1559 должностных лиц, сумма штрафов составила 1,159 тыс.руб.

Проведены проверки уровня безопасности судоходных гидротехнических сооружений из числа проверенных сооружений в России: 20,9% – нормальный уровень безопасности; 57,9% – пониженный уровень безопасности; 17,1% – неудовлетворительный уровень безопасности; 4,1% – опасный уровень безопасности.

Ужесточились требования по выдаче лицензии судовладельцам на перевозку груза, погрузочно-разгрузочную деятельность и перевозку пассажиров. Соискатели лицензий кроме разработанных планов ЛАРН должны назначить лиц ответственных за производство работ, которые должны иметь высшее профессиональное образование и опыт работы по специальности не менее 5 лет.

Весь комплекс принятых мер позволит в целом снизить количество ТП, а значит и повысить уровень безопасности на водном транспорте.

Динамика ТП в Ленском бассейне за восемь лет по видам представлена в таблицу 2.

В результате принятых мер в 2007 году, количество ТП против уровня 2006 года уменьшилось на 25%, а в 2008 году против уровня 2007 г. на 50%. На показатели работы повлияли водность бассейна и сроки проведения навигации. Навигация 2008 г. проходила в благоприятном водном режиме с поздним замерзанием реки в сравнениями со средними значениями, поэтому весь флот дошел до приписных пунктов, случайных отстоев не зарегистрировано.

Следует отметить, что по характеру дно рек бассейна верхней Лены, р.Витим, р.Олекма, р.Алдан представляют собой скальные породы и валуны. Поэтому при посадке на мель возникает удар – является разновидностью посадки на мель. Поэтому задача сниже-

ния посадок на мель и её разновидностей – ударов, позволит снизить количество ТП до 80% от всех случаев.

*Таблица 2 – Динамика транспортных происшествий в Ленском бассейне*

Вид ТП	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Всего ТП	20	21	17	20	18	19	24	18	9
Посадки на мель	19	9	5	14	12	16	17	13	8
Удары	0	9	9	5	3	1	5	1	1
Затопления	0	2	1	0	2	0	1	1	1
Столкновения	1	1	2	1	1	2	1	3	0
Аварии	0	0	2	0	1	0	0	1	1

Наиболее опасные виды ТП затопления и столкновения нередко являются предпосылками к авариям, поэтому снижение их в целом снизит уровень аварийности в бассейне.

Основные причины ТП в Ленском бассейне за период 2000-2008 гг. Представлены в таблице 3

*Таблица 3 – Основные причины транспортных происшествий в Ленском бассейне*

Вид ТП	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Всего ТП	20	21	17	20	18	19	24	18	9
Невыполнение нормативно-распорядительных документов	10	18	11	13	12	10	18	10	7
Судоводительская ошибка	4	2	2	5	4	7	4	2	0
Неудовлетворительное содержание пути, знаков судовой обстановки	4	0	2	1	2	1	2	0	1
Техническая неисправность судовых устройств механизмов	–	2	1	2	0	0	1	0	1

До 90% всех происшествий по причинам составляет невыполнение нормативно-распорядительных документов и судовладельческие ошибки так называемый «человеческий фактор». Не выполнил норм требований, неоглядел, проявил излишнюю самоуверенность, неоправданный риск в комплексе и составляют перечень ошибок и правил судовождения.

Исходя из изложенных данных, в последние годы намечена положительная динамика по снижению ТП, однако старение флота, нехватка кадров опытных судоводителей, снижение профессиональной привлекательности профессий по ряду причин приводит к оттоку специалистов, переходу их на другую работу.

Задача повышения престижа профессии, повышение уровня заработной платы, привлечение на флот молодых специалистов должна стать одной из главных задач судовладельцев.

**О некоторых нерешенных вопросах по снижению уровня безопасности в бассейне.** Анализируя итоги работы за 8 лет, необходимо отметить ряд вопросов, которые не решаются на протяжении ряда лет со стороны отдельных ведомств.

*Паромные переправы:*

- администрации районов и городов в границе которых находятся паромные переправы, не имеют договоров с перевозчиками на перевозку пассажиров и автотехники, не определены права и обязанности сторон, ответственных за транспортный процесс, не выделены прилегающие земли перевозку для обустройства территории обеспечения безопасности заезда техники и пассажиров (в длительную аренду), отсутствует регулирование движения автотранспорта по заезду выезду транспортных средств на паромы.

- погрузка выгрузка автосредств производится на не оборудованном берегу;

- отсутствуют накопители автотехники, шлагбаумы погрузка-выгрузка осуществляется «диким» способом без соблюдения очередности, что является причиной конфликтов между водителями, имеются случаи выяснения отношений между ними;

- выделенные прилегающие территории не соответствует санитарным нормам, на территории отсутствуют бытовые помещения (туалет), места сбора мусора, работают продуктовые палатки, на которых не соблюдаются санитарно-гигиенические нормы обслуживания;

- в пиковые периоды, в период массовой перевозки техники суботные, воскресные дни, а также весенне-осенние периоды отсутствуют наряды милиции для соблюдения правопорядка на переправе.

Администрации районов и городов «как организатор перевозок» не обеспечивают должного уровня качества предоставляемых услуг пассажирам и водителям транспортных средств и практически не уделяют внимания безопасности перевозок на паромных переправах. Кроме обустройства береговой полосы, Администрации районов и городов должны следить за состоянием подходов к причалам своевременному тралению, обустройством судовых трасс Якутск - Н.Бестях и многим другим вопросам контроль за погрузкой выгрузкой пассажиров и автотехники, недопущение перегруза судна, соблюдение противопожарных мер, наличие средств спасения, поскольку услуга перевозки пассажиров и автомашин является социальным заказом выполняемым Мэрией для населения города Якутска и 5 заречных улусов и обеспечение безопасности этих перевозок является одним из главных приоритетов Администрации районов и городов. В настоящее время Правительством РС(Я) от 31 июля 2003 г. №486 издано постановление «Об организации работы паромных переправ через реки при пересечении их автомобильными дорогами федерального, регионального и муниципального значения в соответствии с пунктом 4 возложена ответственность за функционирование паромных переправ на МО. Состояние паромных переправ не соответствует нормам и требованиям безопасности необходимо наведение порядка в этом вопросе.

*О работе пассажирских дебаркадеров.* Пассажирские перевозки на линиях осуществляемые судами на подводных крыльях должны иметь безопасные места причаливания (дебаркадеры) для высадки и посадки пассажиров не только в конечных пунктах, но и в пути следования в промежуточных пунктах, для этого главы администраций поселков и городов должны обустроить такие причалы на всем пути следования скоростного флота.

На сегодняшний день перечень таких пунктов ограничен: Осетрово, Киренск, Витим, Пеледуй, Ленск, Олекминск, Якутск, Хандыга, Сангары, Жиганск. При этом на все дебаркадеры отвечают требованиям безопасности.

В ряде населенных пунктов Республики: Исити, Синск, Саньяхта, Урицкое, Чарпаево, Дельгей, Мача, Батамай, Крест Хальджай, Усть-Татта, в деревнях Иркутской области высадка и посадка пассажиров осуществляется через лодки подходящих к СПК, на ходу при снижении скорости. Таким образом главы муниципальных образований подвергает опасности пассажиров следующих в данные пункты или выезжающих из них.

В соответствии с ПП по ВВП и ПТЭ:

1 Данные пункты должны оборудованы информационными знаками пункта и расписанием движения судов.

2 На промежуточных пунктах, обслуживанием дебаркадера должна заниматься администрация муниципального образования населенного пункта, где расположен дебаркадер.

3 Ответственные за посадку пассажиров должны заниматься регулированием по безопасной посадке на суда.

4 Главы администраций должны заключать договора с ФГУ «Ленское ГБУВПиС» и ООО «Пассажирское районоуправление» для установки дебаркадеров и обеспечения перевозки пассажиров.

*О комплектовании кадров плавсостава.* Не укомплектованность кадров плавсостава в последние годы становится хронической. Экипажи, как правило, стали работать в двух сменном режиме, нарушая нормативную численность для работы в три смены.

Основные причины:

– Слабая закрепляемость кадров (молодых специалистов после окончания учебных заведений). Например в ОАО «Ленское объединенное речное пароходство» в 2007 г. – 63 выпускников средне-специальных учебных заведений. В 2008 г. – 57, а на момент окончания 2008 года осталось работать не более 20%.

Текущая кадровая ситуация вызвана неудовлетворительным размером зарплаты и жилищных проблем (от общего количества уволенных 52% и 12% соответственно).

– Сохраняется дефицит кадров плавсостава в навигацию 2008 г. комсостав 43 судов работает в двухсменном режиме, по годам:

2002 – 17; 2003 – 19; 2004 – 33; 2005 – 25; 2006 – 25; 2007 – 43; 2008 – 43.

Возрастной ценз капитанов транзитного флота имеет прогрессивную отрицательную динамику из-за интенсивного старения (таблица 4).

Из-за отсутствия замены молодыми специалистами наблюдается рост численности

*Таблица 4 – Возрастной ценз капитанов транзитного флота, %*

Годы	2006	2007	2008
Возраст 51-60 лет	20,3	30,5	40
Свыше 60 лет	2,4	4	7

плавсостава возрастом свыше 60 лет.

Наблюдается перекоп в образовательном процессе выпускники профтехучилищ и речных училищ по новому Госстандарту получает только одну специальность. Трудоустроить их на флоте нет возможности поскольку 96% судов эксплуатируются в совмещенной профессии. Ранее действовал стандарт «техник судоводитель с правом эксплуатации судовых энергетических установок, который позволял выпускнику проходить дипломирование на должность помощник механика. Минтрансу РФ необходимо срочно изменить Госстандарт, чтобы присвоить квалификацию «техник судоводитель с правом эксплуатации судовых энергетических установок». Совмещение профессий должно иметь перспективу в дальнейшем. Учебные заведения профессионального образования согласно Положения о дипломировании №349 от 31.05.2005 г. стали выдавать рабочие дипломы третьего помощника механика III группы судов, тогда как ранее выдавались третий помощника механика всех групп судов до IV группы судов, учитывая что основная масса эксплуатируемого флота составляет IV группу, начались проблемы с комплектованием комсостава флота.

Необходимо вернуть право учебным заведениям выдавать первые дипломы и квалификационные свидетельства, поднять группу судов с учетом образовательного уровня в соответствии с приказом МРФ РФ №51 от 03.04.1985 г.

Укомплектованность морскими специалистами в бассейне составляет комсостава 67%, рядового состава 74%. Привлечь кадры морских специалистов других регионов нет возможности, поскольку зарплата крайне отличается от получаемой ими на местах.

Нехватка рядового состава специалистов смешанного «река-море» плавания составляет ежегодно 150 человек, которая пополняется за счет набора курсантов на практику 100 человек. Дефицит кадров рядового состава составляет 40-50 человек.

Минтрансу РС(Я) необходимо с заинтересованными ведомствами разработать программу комплектования кадров плавсостава бассейна, особенно специалистов «река-море» плавания.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** транспортные происшествия, повышение уровня безопасности

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Стручков Владимир Иннокентьевич, начальник Северо-Восточного управления Госморречнадзора

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 677000, Республика Саха, г. Якутск, ул. Орджоникидзе, 46/2, Северо-Восточное управление Госморречнадзора

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ НА МАЛЫХ РЕКАХ**

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

**А.В. Зачёсов**

### **TECHNOLOGY OF TRANSPORTATIONS OF CARGOES ON THE SMALL RIVERS**

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

**A.V. Zachesov**

The basic technologies of transportations of cargoes and fleet work on the small rivers of Vos-exact pools are considered.

Рассматриваются основные технологии перевозок грузов и работы флота на малых реках Восточных бассейнов.

Опыт работы судоходных компаний по доставке грузов по малым рекам, а также необходимость решения поставленных при этом задач по эффективности использования флота позволяют наметить и реализовать на современном этапе некоторые пути совершенствования технологии перевозки грузов и движения флота в ограниченных условиях судоходства.

Основные из них следующие:

- 1 Порейсовая организация «перегрузки» грузов по специальному графику;
- 2 Организация доставки грузов в пределах «короткой навигации»;
- 3 Целевые комплексные программы государственной поддержки доставки грузов;
- 4 Концентрация грузовых потоков для малых рек;
- 5 Использование интенсивных технологий доставки грузов в пункты малых рек.

Сущность «порейсовой» организации перегрузки грузов из крупнотоннажного в малотоннажный флот сводится к следующему.

Служба перевозок и движения флота судоходной компании ежедневно разрабатывает специальный график совместной работы крупнотоннажного и малотоннажного флота рабо-

тающих по доставке одноименных грузов по конкретным направлениям в пункты малых рек.

Вахтенный начальник крупнотоннажного судна через диспетчера судоходной компании или непосредственно через оперативную связь с капитаном малотоннажного судна определяет место встречи двух судов в зависимости от дислокации флота, занятого в технологическом процессе и погодных условий в предполагаемых районах перегрузки. По мере установления пункта встречи производится бортовая перегрузка грузов из крупнотоннажного судна в малотоннажный.

Такая организация совместной работы характерна для крупных танкеров (например, проекта Р-77 грузоподъемностью 2100 т класса «М» и малотоннажных судов проектов №866 и 01-ИП), а также возможно для сухогрузных судов, оборудованных судовыми перегрузочными средствами.

Опыт работы по упомянутой схеме имеет место в Обь-Иртышском бассейне при работе флота в Обской и Тазовской губе и подтверждает её работоспособность. При этом сокращается время на доставку грузов потребителям, повышается эффективность работы флота, когда капитан крупнотоннажного танкера назначает время и место для встречи с малотоннажным флотом.

Сущность формы организации перевозок грузов в пункты малых рек под условным названием «короткая навигация» сводится к максимальному использованию провозной способности крупнотоннажного флота в короткий полноводный период навигации. Чаще всего это связано с экспедиционной формой движения флота. Служба перевозок и движения флота судоходной компании формирует специально организованный транспортный караван.

В состав транспортного каравана помимо транспортного флота, плавучей перегрузочной техники включаются работники пароходства. Среди них капитаны – наставники, заместитель начальника пароходства, начальники службы безопасности судовождения и службы грузовой и коммерческой работы, приёмосдатчики, лоцман. Сформированный транспортный караван подается к устью малой реки и начинает движение по малой реке после очищения её ото льда.

Такая схема работы характерна для Енисейского речного пароходства при завозе грузов в пункты малых рек Большой Пит, Подкаменная и Нижняя Тунгуски, Большая Хета.

В наиболее напряженные годы (1980-1985 гг.) при завозе грузов на малые реки Енисейского речного пароходства формировались транспортные караваны в пределах 60-160 единиц флота. В том числе: на р.Большой Пит – 60 ед. флота; на р.Подкаменная Тунгуска – 160 ед. флота; на р.Нижняя Тунгуска – 100 ед. флота.

На перевозках грузов в период «короткой навигации» работают грузовые теплоходы грузоподъемностью от 700 до 2000 т, а также мощные толкачи проекта №428. Такая схема работы флота является целесообразной, поскольку основное направление по грузопотоку из Красноярск в Дудинку в это время из-за температурного режима в Заполярье остается закрытым.

Аналогичная ситуация складывается в Ленском бассейне, когда основное направление грузопотока из Осетрово через Северный Морской Путь на реки Северо-Востока закрыто, крупнотоннажный флот в рамках «короткой навигации» выполняет перевозки по малым рекам: Киренге, Чаре, Жуе, Витиму, Май, Амге, Олекме и др.

В условиях изменения форм собственности предоставляется необходимым и целесообразным решать проблему завоза грузов в пункты малых рек через целевые комплексные программы государственной поддержки.

Сущность принципиальной схемы состоит в разработке двух видов программ – федерального и регионального уровней. Программы федерального уровня разрабатываются специально создаваемым федеральным органом по Северу и, в первую очередь, должны быть направлены на работу флота в районах Крайнего Севера и Заполярья, определяют перечень населенных пунктов для осуществления северных поставок, количество и номенклатуру грузов, а также объемы и источники финансирования.

На основе разработанных целевых программ федерального уровня устанавливается государственный заказ, выполнение которого обязательно для всех участников технологического процесса доставки грузов.

Субъекты Российской Федерации при необходимости создают свои региональные программы, в которых также определяются объем и номенклатура заводимой продукции, источники и объемы финансирования (в основном из регионального бюджета).

В результате формируется оптимальная система завоза грузов, в составе которой ре-

шаются задачи обоснования схемы перевозок, рациональные виды транспорта, сроки выполнения завоза, а также все экономико-финансовые вопросы, включая тарифную политику, цены на поставку и систему взаиморасчетов между отправителями, перевозчиками и грузополучателями.

При разработке целевой комплексной программы дополнительно необходимо решить вопросы долевого участия администрации федерального округа (края, области, района) в формировании и строительстве причалов на малых реках, пополнения механизации для производства грузовых работ обеспечения надежности и эффективности транспортного процесса.

Среди возможных схем завоза грузов в пункты малых рек с магистрали рассматривается схема с концентрацией грузопотоков в перевалочной базе (накопителе) – перевозка грузов в крупнотоннажных судах по магистрали с перевалкой в устьевом пункте (или в пункте резкого колебания уровней воды) малой реки во флот меньшей грузоподъемностью или выгрузкой на берег с последующим отправлением в судах, способных работать на малой реке.

Такая схема обладает рядом преимуществ. Основные из них следующие:

- улучшаются эксплуатационные показатели крупнотоннажного флота, который работает на магистрали в относительно благоприятных условиях судоходства при максимальной загрузке;

- сокращается пробег малотоннажного флота (только по малой реке);

- снижается себестоимость перевозок, поскольку более рационально загружаются суда и составы на всем пути следования.

В то же время такая схема имеет некоторые недостатки, которые обусловлены следующим:

- увеличиваются сроки доставки грузов за счет дополнительных затрат времени на производство перегрузочных работ в перевалочной базе;

- перегрузочные пункты в базе концентрации грузопотоков должны иметь соответствующие производственные мощности, здесь необходимо обустроить причальный фронт, содержать перегрузочную технику и соответствующее оборудование. Все это требует дополнительных затрат.

С целью частичного сокращения влияния изложенных недостатков на технологический процесс доставки грузов в пункты малых рек предлагается концентрировать грузовые потоки по группам малых рек. В качестве баз концентрации выбираются порты или пристани, которые обустроены для производства перегрузочных работ, имеют необходимое перегрузочное оборудование и соответствующую пропускную способность причального фронта и отправляют грузы на все малые реки, включенные в группу.

Использование интенсивных технологий доставки грузов в пункты малых рек сводится к организации мобильных транспортно-перегрузочных комплексов (МТПК), который создается на базе крупных портов, выполняющих роль районного центра обслуживания группы малых рек.

МТПК представляет собой организационно-техническую систему доставки грузов, которая обеспечивает доставку грузов в основном в малоосвоенные районы с недостаточно развитой транспортной системой. Такой комплекс действует временно обладает способностью быстрого развертывания в местах обработки флота, имеет в наличии соответствующую перегрузочную и транспортную технику, способен к оперативному маневру на одной реке или на группе рек.

Своевременная перестройка технологических процессов доставки грузов и маневрирование транспортными и перегрузочными ресурсами позволяют перейти на интенсивные технологии перевозок, обеспечить освоение новых грузопотоков, участков рек в ограниченные сроки.

МТПК не претендуют на полную замену транспортных караванов с выездными пристанями, а являются дополнением к ним с соответственно с конкретными условиями судоходства.

С целью успешного выполнения предлагаемых технологических решений по перевозке грузов и движению флота по малым рекам на балансе судоходных компаний необходимо иметь специальный малотоннажный флот, способный работать на малых реках в течение всей навигации. Такой флот в судоходных компаниях Сибири есть, но в крайне ограниченном количестве. В частности, в Восточных бассейнах имеющийся малотоннажный флот может обеспечивать не более 25% объемов перевозок по малым рекам. Остальные перевозки

приходится выполнять в крупнотоннажных судах, эффективность которых на этих перевозках остается низкой.

Исследования автора показывают, что пополнение малотоннажного флота из нового судостроения целесообразно ориентировать на самоходные суда, которые могут надежно работать при глубине судового хода от 0,6 до 1,2 м грузоподъемностью 50, 100, 200, 300, 400 и 1000 т и обладают рядом преимуществ перед самоходным флотом. При этом рекомендуется использовать буксирный флот мощностью соответственно 150, 300 и 450 л.с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *малые реки, технология перевозок, малотоннажный флот.*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Зачёсов Александр Венедиктович, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

## **РЕЙСОВАЯ ФОРМА ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ В ОПЕРАТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ**

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

**И.С. Дерябина**

**THE TRIP FORM OF THE ORGANIZATION OF MOVEMENT IN THE OPERATIONAL ADMINISTRATION**  
**«Novosibirsk state academy of water transport»**  
I.S. Deryabina

The sequence of working out of the schedule of giving of empty courts for loading is considered.

Рассматривается последовательность разработки графика подачи порожних судов под погрузку.

Одним из этапов управления транспортным процессом является оперативное управление. Оно дает возможность учитывать различные отклонения параметров текущего планирования в реальном масштабе времени в оперативной обстановке. Временной интервал оперативного управления – от декады до суток.

Основная задача оперативного управления состоит в выполнении текущих планов с учетом каждодневных изменений, условий эксплуатации и реальных возможностей речной транспортной системы. В оперативной обстановке необходимо учитывать дислокацию флота, состояние внутренних водных путей, техническую готовность портов и причалов, гидротехнических сооружений, работу смежных видов транспорта в перевалочных воднотранспортных узлах.

Поскольку в оперативной обстановке приходится работать только с наличными техническими средствами без введения новых, при принятии управленческих решений в качестве основного критерия оптимальности следует принимать только общие затраты без учета капитальных вложений, которые в этом случае не предусматриваются.

Основные задачи оперативного управления являются многовариантными, поскольку включают в себя многообразие типов транспортных средств, разнообразных условий плавания на отдельных участках водных путей, различных родов грузов и направлений движения судов и составов. В этих условиях задача выбора оптимального варианта принятия управленческих решений оказывается достаточно сложной, предъявляет высокие требования к информационному, математическому и техническому обеспечению системы оперативного управления.

Из-за дефицита времени и значительного объема исходной информации решение многовариантных задач целесообразно осуществлять на базе математического моделирования с использованием технических средств управления. При этом рекомендуется использовать не только точные, но и приближенные к оптимальным методы решения.

Анализ состава задач по оперативному управлению работой флота показывает, что эти задачи можно группировать по двум направлениям [1]:

– обоснование оптимальных маршрутов движения судов и составов;

– построение оптимального расписания обслуживания транспортных средств в портах и на пристанях.

Для первого направления различают две формы организации движения флота: линейную и рейсовую. Для линейной формы маршрут определен однозначно и характеризуется параметрами линии. Для рейсовой формы решается задача обоснования каждого маршрута отдельно – куда направить флот после его выгрузки в очередном порту.

В составе второго направления необходимо определить оптимальную последовательность обработки флота, основываясь при этом на информации, характеризующей состояние работы причалов порта по прибытию и отправлению судов, судов находящихся под обработкой или в ожидании обслуживания.

Характерной особенностью первого направления является согласование сроков подачи судов под погрузку в соответствии с готовностью груза к перевозке. План перевозок грузов на выделенный временной интервал оперативного управления представляется в виде месячных заявок грузоотправителя, в которых содержится информация о количестве перевозок, распределенных по датам планового периода. Конкретизация дат является основой разработки графика подачи судов под погрузку. Такая задача относится к классу задач теории расписаний и требует учета реально сложившейся ситуации в бассейне, в частности, дислокации флота.

Для расчета графиков подачи судов под погрузку помимо информации о заявках грузоотправителей, данных о наличии флота, дислокации флота на начало планируемого периода, предлагаемых условий плавания, норм и показателей использования флота, дополнительно потребуются технико-эксплуатационные и экономические параметры судов. В частности, грузоподъемность, грузовместимость, скорость в полном грузу и порожнем, а также себестоимость содержания судна в ходу и на стоянке.

Для расчета графика подачи судов под погрузку необходимо определить затраты времени на следование судов из пункта выгрузки до пункта погрузки.

Время прибытия судна в запланированный пункт выгрузки определяется следующим образом [2]

$$t_{np} = t_{m_1} + t_{nep} + t_{m_2} + t_x + t_n + t'_{m_1} + t'_{sep} + t'_{m_2},$$

где  $t_{m_1}, t_{m_2}, t'_{m_1}, t'_{m_2}$  – затраты времени на технические операции в пункте отправления до и после погрузки, а также на технические операции в пункте назначения до и после выгрузки;

$t_{nep}, t'_{sep}$  – затраты времени на грузовые работы соответственно в пунктах погрузки и выгрузки;

$t_x$  – ходовое время с грузом между пунктами погрузки и выгрузки;

$t_n$  – затраты времени на технические операции в пути.

Блок схема, приведенная на рисунке 1 используется для расчета валового времени на переход судна из пункта погрузки в пункт выгрузки. Расчеты проводятся на персональных компьютерах, по всем рейсам введенных в расчет в планированном периоде.

Имитация работы флота на персональном компьютере позволяет представить технологический процесс во времени с учетом всех факторов влияющих на работу флота в конкретной ситуации.

Задача по расчету графика подачи судов под погрузку по каждому отдельному рейсу решается в оперативной обстановке в соответствии со сложившейся ситуацией на момент принятия управленческого решения. В такой обстановке можно с использованием эвристических методов получать приближенный вариант, поскольку учесть всю совокупность факторов, влияющих на технологический процесс достаточно сложно. Выбор вариантов осуществляется путем сравнения по выбранному критерию (себестоимость, доходы, суммарные порожние пробеги и т.п.).

Если есть возможность по времени и при наличии технических средств управления задачу можно решить с использованием известных методов оптимального планирования.

В этом случае экономико-математическая модель обоснования графика подачи судов под погрузку записывается следующим образом.

Целевая функция

$$\sum_{ikj} X_{ikj} t_{ikj} = \min.$$

Ограничения:

– запланированный к отправке груз из каждого порта должен быть отправлен полностью

$$\sum_{ij} X_{ikj} Q_{ikj} = G_k;$$

– из порта выгрузки весь флот должен быть отправлен под погрузку

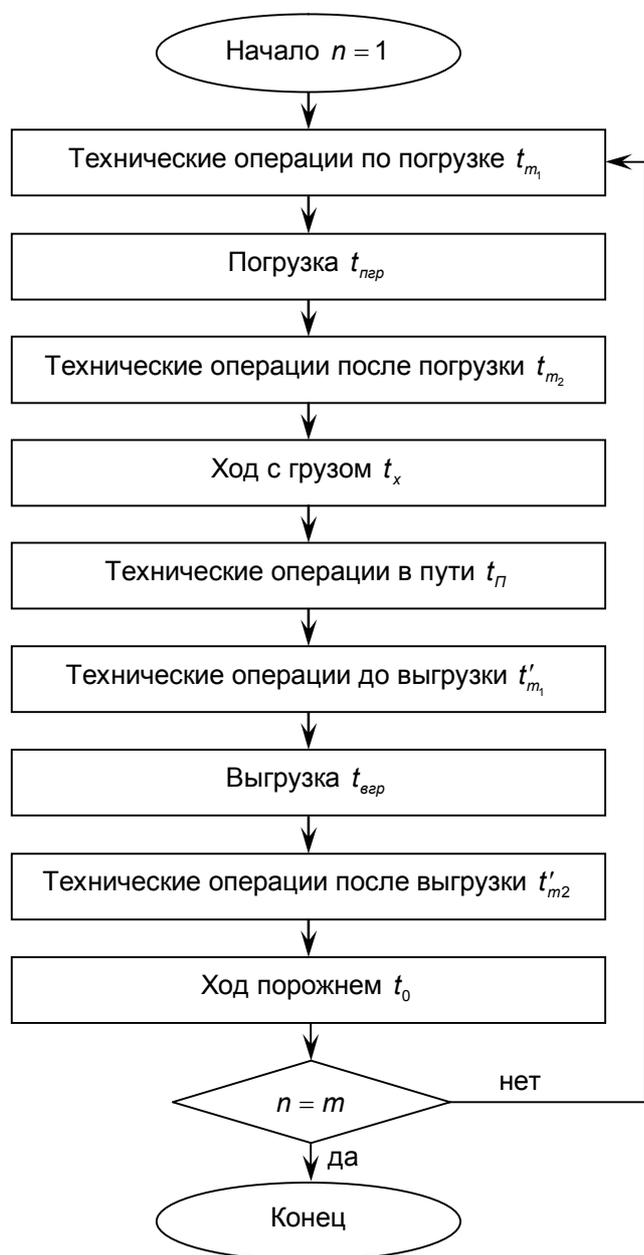
$$\sum_{kj} X_{ikj} = \Phi_i ;$$

– пропускная способность пунктов погрузки должна обеспечить своевременную погрузку судов направленных в этот порт

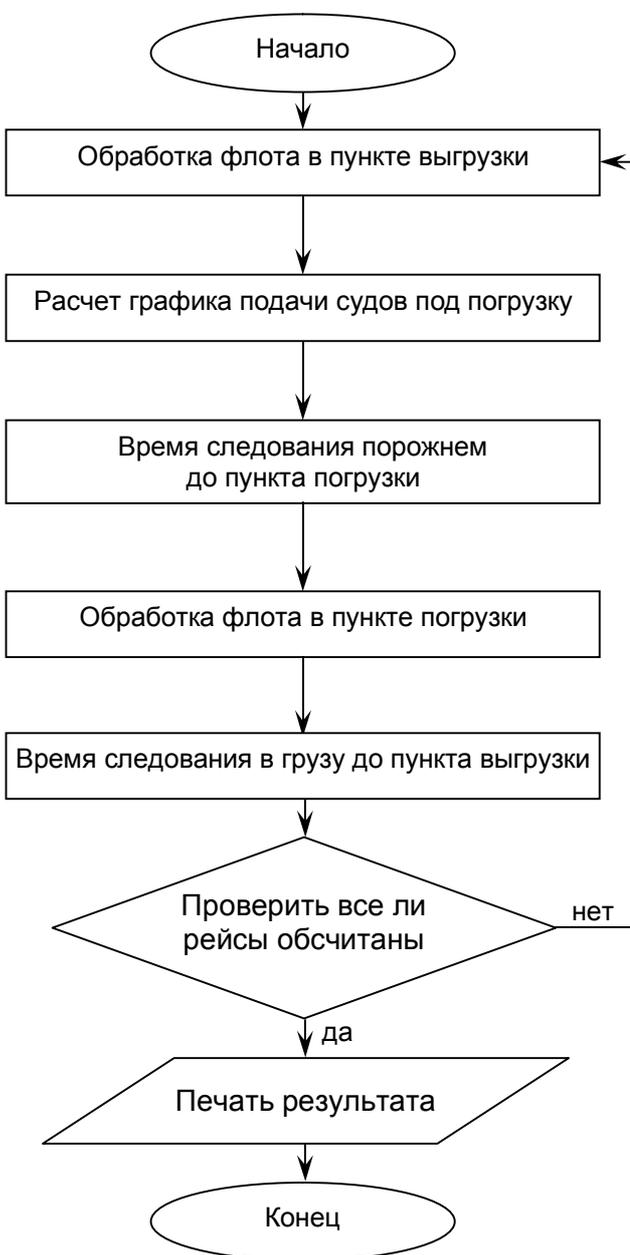
$$\sum_{ij} X_{ikj} a_{ikj} \leq \Pi_k ;$$

– условие потенциальности переменных

$$X_{ikj} \geq 0 ;$$



*Рисунок 1 – Расчет валового времени на переход судна из пункта погрузки в пункт выгрузки*



*Рисунок 2 – Логическая последовательность вычислительного процесса*

где  $i, k, j$  – соответственно признаки типа судна, порта выгрузки из порта погрузки;

$X$  – число судов, отправляемых из порта выгрузки;

$t$  – время следования судна из порта выгрузки в порт погрузки;

$a$  – показатель, учитывающий интенсивность обработки судов в порту погрузки;

$\Phi$  – наличное количество судов в порту выгрузки;

$\Pi$  – пропускная способность порта погрузки;

$Q$  – норма загрузки судна;

G – количество груза запланированного к отправке из порта погрузки.

Поставленная задача решается на ПЭВМ для каждого рейса отдельно в соответствие с последовательностью приведенной на рисунке 2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Оптимизация планирования и управления транспортными системами / Е.М. Васильева, Р.В. Игудин, В.Н. Лившиц и др. Под ред. В.Н. Лившица. -М.: Транспорт, 1987. -208 с.

2 Бутов, А.С. Планирование работы флота и портов / А.С. Бутов, В.А. Легостаев. -М.: Транспорт, 1988. -175 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: особенности оперативного управления, график подачи судов под погрузку

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Дерябина Ирина Сергеевна, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

**СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ АСКУЭ РРЭ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

И.Ю. Норкин

**COMPONENTS OF EFFECTIVENESS OF IMPLEMENTATION ASCRE RME ON RAILWAY TRANSPORT**

State educational institution of higher professional education

«Omsk State Transport University»

I.Yu. Norkin

Composition of techno-economic components of effectiveness of implementation automatized systems of commercial register electrical energy of retail markets contemplated in article.

Рассмотрена структура технико-экономических составляющих эффективности внедрения автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии розничных рынков

Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии розничных рынков (АСКУЭ РРЭ) направлена на повышение экономического эффекта деятельности ОАО «РЖД» путем увеличения доходных поступлений от дополнительно учтенной переданной электроэнергии и снижения расходов на оплату коммерческих потерь электроэнергии.

Эффективность внедрения АСКУЭ РРЭ определяется комплексом составляющих, обусловленных спецификой железнодорожного транспорта (рисунок 1).

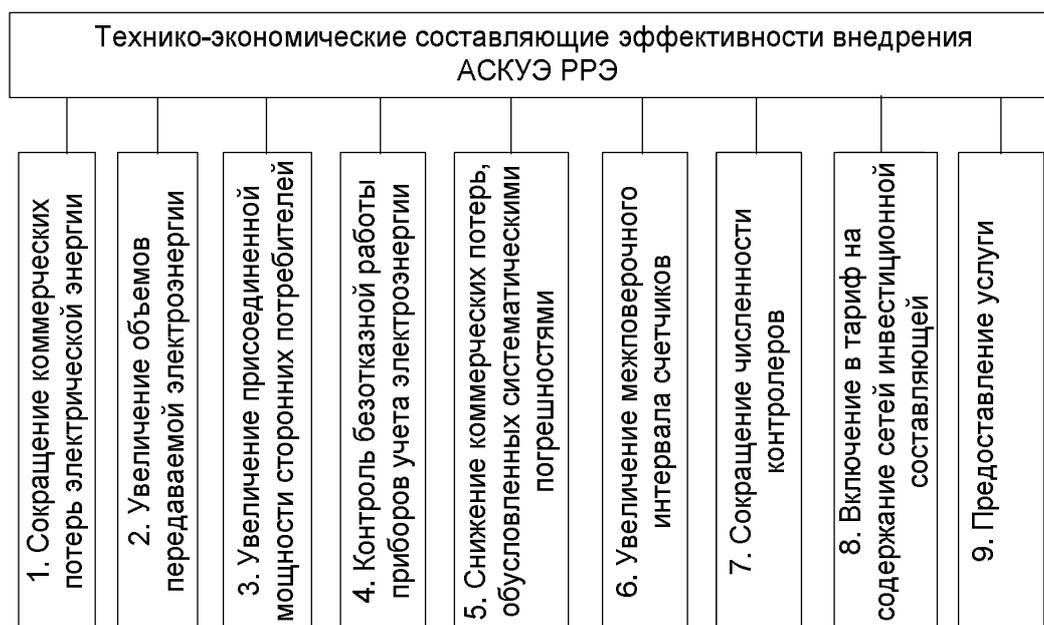


Рисунок 1 – Структура технико-экономических составляющих эффективности внедрения АСКУЭ розничных рынков электроэнергии

*Сокращение коммерческих потерь электрической энергии (выявление бездоговорного и безучетного потребления электрической энергии).* Важным направлением при расчете экономического эффекта внедрения АСКУЭ РРЭ является оценка снижения коммерческих потерь электрической энергии и увеличение доходов от передачи электроэнергии сторонним потребителям.

Одна из наиболее существенных составляющих коммерческих потерь ОАО «РЖД» на розничном рынке обусловлена наличием неучтенного потребления электроэнергии (включающего в себя безучетное и бездоговорное потребление электрической энергии) в связи с незаконным подключением потребителей и неисправностями приборов учета (примерно 20-30% коммерческих потерь электроэнергии).

Предпроектное обследование перед внедрением АСКУЭ РРЭ позволяет выявить неучтенное потребление электроэнергии. При этом возрастает регистрируемый объем передачи электроэнергии по сетям ОАО «РЖД» сторонним потребителям.

При выявлении неучтенного потребления электроэнергии могут быть приняты следующие меры:

- компенсация коммерческих потерь электрической энергии сетевой организации в случае выявления безучетного потребления электрической энергии;
- оплата потребителем выявленного бездоговорного потребления электрической энергии сетевой организации и последующее заключение договора на электроснабжение (или отключение потребителя электрической энергии);
- полное отключение потребителя в случае отказа от оплаты выявленного бездоговорного потребления.

*Увеличение объемов передаваемой электроэнергии за счет организации учета фактически переданной сторонним потребителям электроэнергии предъявляемой к оплате.* При выявлении неучтенного потребления электроэнергии (включающее в себя безучетное и бездоговорное потребление электрической энергии) возрастает регистрируемый объем передачи электроэнергии по сетям ОАО «РЖД» сторонним потребителям.

*Увеличение установленной мощности сторонних потребителей.* Выявление неучтенного потребления электроэнергии с дальнейшим заключением договора на электроснабжение потребителя с энергосбытовой организацией позволяет обоснованно увеличить присоединенную мощность сторонних потребителей к сетям ОАО «РЖД».

*Контроль безотказной работы приборов учета электроэнергии.* Внедрение АСКУЭ РРЭ обеспечивает получение достоверной и оперативной информации о количестве потребленной электроэнергии, тем самым позволяет осуществлять контроль состояния приборов учета электроэнергии. Таким образом, своевременное выявление и устранение причин нарушения учета электроэнергии приводит к повышению эффективности контроля электропотребления.

*Снижение коммерческих потерь, обусловленных погрешностями измерений электроэнергии в нормальных условиях работы измерительного комплекса.* Одна из основных составляющих коммерческих потерь обусловлена погрешностями измерений отпущенной электроэнергии потребителям. Численное значение данной составляющей определяется предельными допускаемыми погрешностями измерительных комплексов.

Реализация проекта АСКУЭ РРЭ предусматривает замену:

- индукционных приборов учета электроэнергии класса точности 2,0-2,5 на электронные класса точности 1,0, для потребителей, получающих питание от сетей 0,4, 6, 10, 35 кВ (мощность которых не превышает 750 кВ·А);
- замену счетчиков класса точности 1,0 на электронные класса точности 0,5 для потребителей, подключенных к сетям 6, 10, 35 кВ, присоединенная мощность которых превышает 750 кВ·А.

Внедрение АСКУЭ РРЭ позволяет снизить значение коммерческих потерь, обусловленных погрешностями измерительного комплекса, для потребителей, получающих питание от сетей напряжением 0,4 кВ.

*Увеличение межповерочного интервала счетчиков.* При внедрении АСКУЭ РРЭ происходит замена индукционных счетчиков электрической энергии на электронные. При этом увеличивается межповерочный интервал приборов учета. Экономический эффект достигается путем уменьшения затрат на поверку в течение оставшегося срока службы индукционных счетчиков.

*Включение в тариф на содержание сетей инвестиционной составляющей.* При про-

ведении работ по внедрению системы АСКУЭ РРЭ постановлением региональных энергетических комиссий в расчетный объем необходимой валовой выручки, обеспечивающий компенсацию экономически обоснованных расходов, включается инвестиционная составляющая, обеспечивающая амортизацию капитальных затрат, понесенных электросетевой организацией (в рассматриваемом случае – ОАО «РЖД»).

*Сокращение численности контролеров.* Существующая в настоящее время в ОАО «РЖД» система сбора данных о потреблении электроэнергии сторонними потребителями предполагает периодический обход контролерами ОАО «РЖД» электросчетчиков, установленных у потребителей, ручной сбор данных с них и выписку счетов. Часть потребителей самостоятельно снимает показания электросчетчиков и осуществляет платежи по ним, причем выполняется это нерегулярно, с искажениями и ошибками.

Существующая система сбора характеризуется неоперативностью и неточностью получаемых данных, большим объемом ручного труда. Для обхода и снятия показаний электросчетчиков потребителей содержится значительный штат контролеров. Неоперативность и неточность снятия данных не позволяют получать точную картину распределения электроэнергии в электрических сетях ОАО «РЖД», составлять балансы электроэнергии, и создают условия для ее хищения.

Реализация проекта АСКУЭ РРЭ обеспечивает:

- сбор, формирование данных по расходу электроэнергии на объектах узла и предоставление достоверной и оперативной информации в линейное отделение Трансэнерго;
- формирование статистической отчетности.

Решение этих задач АСКУЭ РРЭ позволит централизовать процесс расчетных операций и получить экономию за счет сокращения расходов на оплату труда и содержание контролеров структурных подразделений филиала «Трансэнерго».

*Предоставление услуг биллинга.* Одним из направлений получения экономического эффекта от внедрения АСКУЭ РРЭ является предоставление услуг биллинга. Создание системы АСКУЭ РРЭ предусматривает организацию учета электрической энергии принятой в сети ОАО «РЖД» и переданной сторонним потребителям, а так же установку коммерческих приборов учета у сторонних ОАО «РЖД» потребителей (рисунок 2).

Объем потребленной электрической энергии ОАО «РЖД» определяется как разница показаний между принятой в сети Компании и переданной сторонним потребителям. Приборы учета, установленные у сторонних ОАО «РЖД» потребителей, являются коммерческими во взаимоотношениях этих потребителей с энергосбытовой компанией.

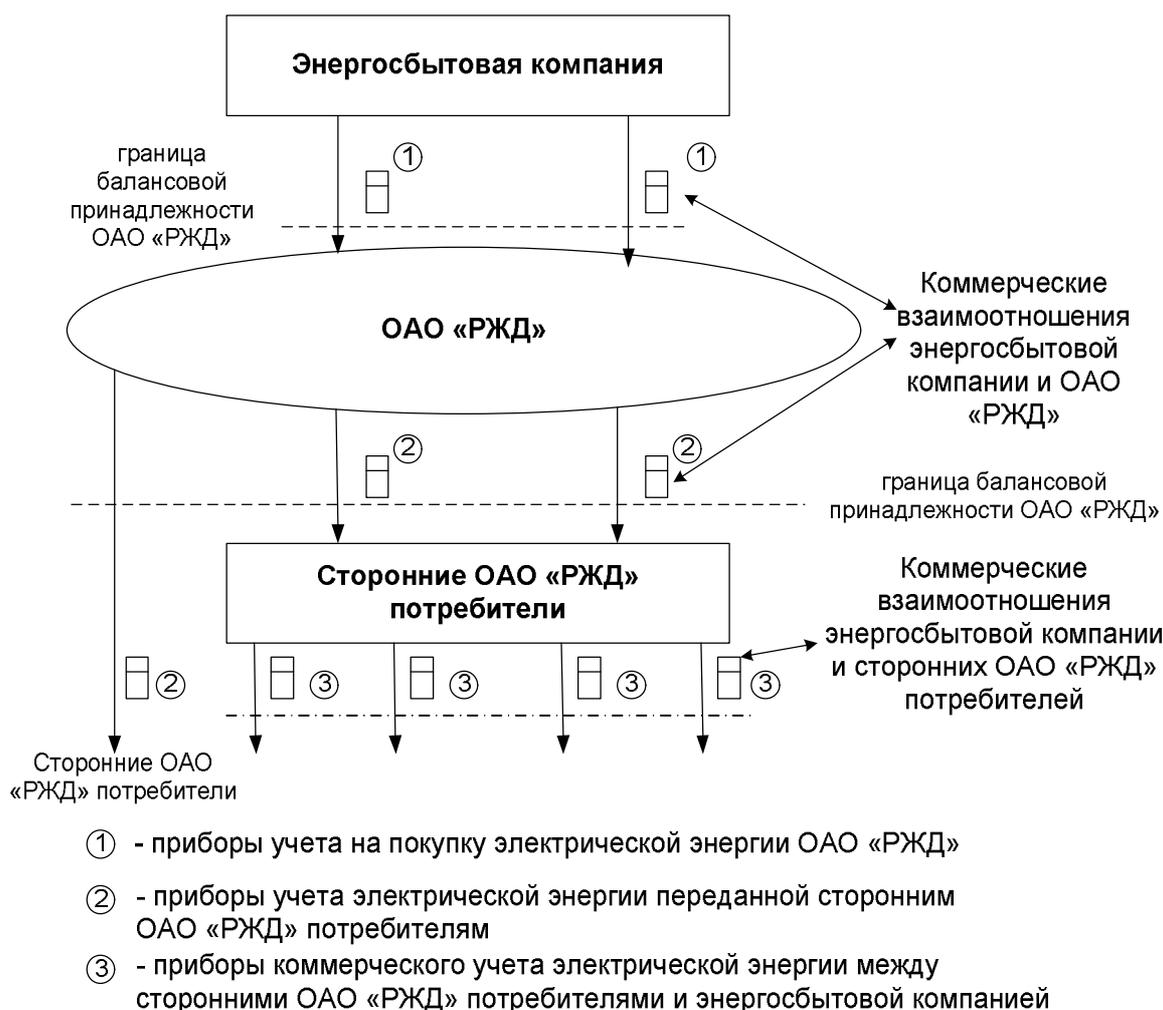
Согласно Постановления Правительства РФ №530 от 31.08.2006 г. «Об утверждении Правил функционирования розничных рынков электрической энергии в переходный период реформирования электроэнергетики» (п.159) сетевая компания обязана предоставлять данные по расходу электрической энергии по приборам учета находящихся на границе балансовой принадлежности своих электрических сетей. Предоставление сетевой компанией информации по приборам коммерческого учета, установленных у сторонних ОАО «РЖД» потребителей и не участвующих в расчетах объемов электропотребления ОАО «РЖД», не оговорено действующими правилами и нормативными документами розничного рынка электрической энергии.

Таким образом, сетевая компания (ОАО «РЖД») может предоставлять информационные услуги (биллинг) энергосбытовым организациям, которые заключаются в оперативной передаче информации о потреблении электрической энергии и составление профилей нагрузки сторонними ОАО «РЖД» потребителями в формате данных, используемом для формирования принятых и утвержденных в энергосбытовых компаниях электронных форм отчетности.

Задачами биллинга являются:

- составление балансов приема и распределения электрической энергии и локализация мест с повышенным уровнем потерь;
- анализ графиков нагрузки потребителей с целью возможного перехода на зонные тарифы на электрическую энергию;
- возможность автоматизации заполнения отчетных форм и документов за счет конвертирования данных на сервере АСКУЭ РРЭ в формат, используемый автоматизированными системами энергосбытовых организаций.

Значение экономического эффекта от предоставления ОАО «РЖД» услуги биллинга энергоснабжающим организациям определяется на договорной основе.



*Рисунок 2 – Структурная схема организации учета электрической энергии в рамках АСКУЭ РРЭ*

Проведенный Омским государственным университетом путей сообщения расчет составляющих экономической эффективности внедрения АСКУЭ РРЭ на четырех железных дорогах показал, что основной составляющей эффективности внедрения является сокращение коммерческих потерь электроэнергии. Доля данной составляющей составляет более 60%. Суммарный экономический эффект от внедрения АСКУЭ РРЭ на этих дорогах составил свыше 13% от общего объема электроэнергии, переданной сторонним потребителям. Также следует отметить, что увеличение экономического эффекта возможно за счет проведения дополнительных работ, направленных на выявление случаев неучтенного потребления и заключения договоров с энергосбытовыми компаниями на предоставление услуг биллинга.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии розничных рынков, экономическая эффективность

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Норкин Игорь Юрьевич, аспирант, инженер научно-исследовательской части ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 644046, г. Омск, пр.Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК В АМУРСКОМ БАССЕЙНЕ**

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

**В.М. Бунеев, И.В. Киберева**

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF CARGO TRANSPORTATION IN THE AMUR BASIN**  
 «Novosibirsk state academy of water transport»  
 V.M. Buneev, I.V. Kibereva

The key directions of improving the efficiency of cargo transportation in the Amur basin are examined.

Рассмотрены основные направления повышения эффективности грузовых перевозок в Амурском бассейне.

Место и роль речного транспорта в Дальневосточном регионе обусловлены геополитическими, географическими, природно-климатическими и социально-экономическими факторами. Перевозки здесь осуществляются по р. Амур, его притокам и в смешанном «река-море» плавании. Сформировался и функционирует рынок транспортных услуг по перевозке грузов и пассажиров, спрос, на котором определяется потребностями хозяйствующих субъектов и социальной сферы региона, а предложения - возможностями судоходных компаний и фирм.

В настоящий момент в Амурском бассейне зарегистрировано 240 судовладельцев, в том числе 15 – акционерные общества различного типа. Крупнейшими операторами рынка транспортных услуг являются ОАО «Амурское пароходство», ОАО «Хабаровский речной порт» и ОАО «Николаевский морской порт». Они перевозят до 90% от общего количества грузов, в том числе на долю судоходной компании ОАО «Амурское пароходство» приходится около 50%. В абсолютном выражении это 1535-1570 тыс. т с грузооборотом 2,38 млн. ткм, в том числе сухогрузы 1300-1370 тыс. т.

Наибольший удельный вес в структуре грузовых перевозок занимают внешнеторговые перевозки (около 80%). В их составе 33% – речные (внутрибассейновые) перевозки и 67% – морские, осуществляемые судами смешанного «река-море» плавания. По грузообороту внешнеторговые перевозки составляют 86%.

Эффективность грузовых перевозок зависит от многих факторов и, прежде всего экономических. Сложившаяся ситуация в Амурском бассейне оценивается как весьма сложная.

Деятельность судоходных компаний направлена на сотрудничество с зарубежными партнерами, в числе которых китайские (речные и морские порты) японские и корейские. В связи с этим большое влияние на эффективность грузовых перевозок оказывают тенденции развития экономики этих стран. Положительным является тот факт, что р.Амур является составной частью международного транспортного коридора. Однако, ситуация осложняется возникшим мировым экономическим кризисом.

Кроме того, ситуация осложняется невысоким уровнем материально-технической базы судоходных компаний и фирм. Большое количество технических средств перевозки и перегрузки устарели и требуется их замена. Сократилась протяженность водных путей, оборудованных судоходной обстановкой, особенно освещаемой и с гарантированными глубинами.

Несмотря на отмеченные сложности, имеются пути решения проблемы повышения эффективности грузовых перевозок. Основные из них:

- 1) экономическое обоснование организационных схем и способов перевозки в составе транспортно-логических систем доставки различных грузов;
- 2) исследование экономически целесообразных (рациональных) сфер и границ использования различных судов на грузовых перевозках;
- 3) оптимизация плана работы флота судоходной компании с учетом оценки влияния рыночных факторов на конечный результат.

Разработка транспортно-логической системы достаточно сложная и трудоемкая задача и поэтому требует отдельно детального рассмотрения. Однако одна из частных задач – обоснование организационных схем перевозки грузов была решена на примере перевозок леса из пунктов Нижнего Амура в морские порты Японии, Китая и Кореи.

На основании предварительного анализа условий осуществления грузовых перевозок приняты следующие альтернативные схемы: маршрутная с использованием судов смешанного «река-море» плавания и немаршрутная с перевалкой в Николаевском морском порту из речных барж в суда смешанного плавания. В качестве перегрузочной техники рассмотрен плавучий кран. Каждая из схем имеет свои преимущества и недостатки. Маршрутная – отсутствие перевалки, однако на речном участке суда смешанного плавания уступают по эффективности речным баржам и составам. Так как при перевозке массовых грузов (МСМ, уголь, лес) себестоимость ниже.

Для немаршрутной преимущества и недостатки меняются местами. Поэтому выбор схемы осуществляется на основании экономического обоснования.

Варианты маршрутной схемы отмечаются типами судов смешанного река-море плавания («Сормовский», «Балтийский», «Волга», «Омский» и «Морской»). В немаршрутной схеме эти суда перевозят лес от Николаевска в пункты назначения. Из пунктов отправления до

Николаевска лес перевозится в составах из барж пр. 16800 и Р-29, за тягой пр. 758АМ и 1741А.

В качестве критерия оценки экономической эффективности и выбора оптимального варианта приняты суммарные эксплуатационные расходы по флоту и крановой механизации с учетом внутренних неявных издержек потребителей транспортных услуг. На основе анализа результатов расчета этого критерия по намеченным вариантам сделаны следующие выводы.

Минимум критерия достигается при освоении заданного объема перевозок по маршрутной схеме судами смешанного река-море плавания типа «Сормовский». Близкие к нему суда типа «Волга» и «Омский». При реализации немаршрутной схемы перевозок наименьшее значение критерия также связаны с судами «Сормовский» на морском участке, а на речном – несамоходные суда проекта Р-29. Этот вариант сопоставим с маршрутной схемой использования на отдельных направлениях перевозок судов типа «Омский» и «Балтийский», а перед «Морским» имеет преимущество.

Окончательное решение по выбору схемы перевозок и типов судов принимается с учетом оценки уровня экономического риска вследствие изменения массы предъявляемых к перевозке грузов из-за влияния различных рыночных факторов. Такое решение принимается по критерию минимизации потерь и убытков судоходной компании, сопоставляя ожидаемый размер эксплуатационных расходов и среднеквадратичное их отклонение по рассматриваемым вариантам.

В зависимости от массы, предъявляемых к перевозке грузов намечены три возможных сценария реализации схемы перевозок: базовый, пессимистический (снижения массы грузов) и оптимистический (увеличение массы). По каждому из них рассчитана вероятность, ожидаемые эксплуатационные расходы, как стандартное математическое ожидание, и среднеквадратичное отклонение (СКВ).

Анализ рискованных решений при перевозке леса из пунктов Нижнего Амура в порты северо-восточного побережья Японии (таблица 1) и на других направлениях подтверждает вывод об оптимальности маршрутных схем с использованием судов смешанного река-море плавания типа «Сормовский». При благоприятных сценариях увеличения спроса на перевозке грузов и недостаточного количества этих судов рекомендуется использовать и другие типы – «Волга» и «Омский», либо немаршрутные схемы перевозок с теми же судами. Экономически целесообразные (рациональные) сферы и границы их использования исследованы методом сравнения показателей, принятых в качестве критериев оценки эффективности.

В качестве исходных данных, характеризующих условия осуществления перевозок, приняты изменение дальности перевозок от 250 до 3000 км, нормы загрузки в зависимости от рода груза и глубины судового хода, а судо-часовая норма погрузки и выгрузки от 25 до 250 т/ч. Рассмотрены упомянутые выше типы судов смешанного река-море плавания. Критерии оценки эффективности – себестоимость перевозок и валовая производительность.

Анализ результатов исследования показал, что себестоимость перевозок снижается при увеличении загрузки, дальности перевозок и судо-часовой нормы грузовых работ по всем типам судов, а валовая производительность – увеличивается. Однако закономерность изменения критериев по различным типам судов существенно отличается. Кроме того, использование двух критериев (экономического и эксплуатационного) приводит к неоднозначным результатам оценки эффективности.

*Таблица 1 – Характеристика рискованных решений при перевозке леса из пунктов Нижнего Амура в порты Юго-Западного побережья Японии*

Схема движения судов и составов	Эксплуатационные расходы по сценариям реализации схем, млн. руб.			Ожидаемые эксплуатационные расходы, млн. руб.	СКВ, млн. руб.
	Пессимистический	Базовый	Оптимистический		
«Омский»	39,8	53,2	73	51,53	12,82
«Сормовский»	33,9	45,3	62,1	43,87	10,89
«Волга»	36,6	48,9	67,1	47,37	11,77
Р-29 → «Омский»	50,2	67,1	92	64,97	16,14
Р-29 → «Сормовский»	45	60,2	82,6	58,29	14,52
Р-29 → «Волга»	48,6	64,9	89	62,87	15,60

Так, судно типа «Сормовский» соответствует самая низкая себестоимость перевозок и

показатель валовой производительности не высокий. Противоположные значения этих показателей соответствуют судну типа «Морской». Промежуточные значения у теплохода типа «Омский».

При анализе технических и эксплуатационных характеристик этих судов установлено, что «Сормовский» – грузоподъемность 3000 т. и мощность 1320 л.с.; «Морской» – 1700 т и 1400 л.с.; «Омский» – 2100 т и 1400 л.с. следовательно, это и повлияло на величину принятых критериев.

Для экономической оценки эксплуатационных качеств грузового теплохода предлагается интегральный показатель

$$C_{\text{эк}} = P_{\text{с}} \left( S + \frac{C_{\text{с}}}{365U_{\text{м}}} \right),$$

где  $C_{\text{с}}$  – стоимость (цена) груза, руб./т;

$U_{\text{м}}$  – маршрутная скорость при перевозке груза на заданном направлении, км/сутки.

Анализ результатов расчета интегрального показателя позволяет сделать следующий вывод. Экономическая оценка тем выше, чем выше требования к эксплуатационным качествам судна. Так, одно из качеств – ходкость, позволяет сократить срок доставки грузов. Оно особенно ценно при перевозке скоропортящихся, дорогостоящих и других грузов из числа исследуемых типов судов таковым обладают «Морской» и «Балтийский». Следовательно, экономическая оценка эксплуатационных качеств в совокупности с предъявляемыми требованиями может быть применена для определения рациональной сферы и границ использования судов на конкретных направлениях перевозок. При этом необходимо обеспечить конкурентоспособность исследуемых типов судов на соответствующих направлениях перевозок. Полученные при обосновании схем перевозок, типов судов и их рациональной сферы и границ использования результаты уточняются в процессе оптимизации плана работы флота судоходной компании. Примером служит оптимальный план, разработанный для судов смешанного река-море плавания на перевозках леса из пунктов Нижнего Амура в морские порты Японии, Китая и Кореи (таблица 2). Здесь предусмотрена гибкая стратегия использования флота в зависимости от спроса на рынке транспортных услуг и массы предъявляемых к перевозке грузов.

При снижении спроса на грузовые перевозки в пессимистическом сценарии по сравнению с базовым одно судно типа «Омский» и одно «Сормовский» переводятся на другие направления перевозок либо выводятся из эксплуатации. С увеличением спроса на перевозки в оптимистическом сценарии вводится одно судно типа «Омский» (по сравнению с базовым). Суда типа «Балтийский» и «Морской» рекомендуется использовать на других направлениях перевозок в соответствии с экономически целесообразной сферой их применения.

*Таблица 2 – Оптимальный план использования судов смешанного река-море плавания*

Тип судна	Наличие судов, ед.	Потребность в судах по сценариям перевозок, ед.		
		пессимистический	базовый	оптимистический
«Морской»	1	–	–	–
«Омский»	4	–	0,56	1,38
«Сормовский»	5	4,09	5,00	5,00
«Волга»	2	2,00	2,00	2,00
«Балтийский»	1	–	–	–

Таким образом, полученные в результате обоснования схем перевозок грузов, исследования рациональных сфер применения типов судов и оптимизации плана их использования данные, являются предпосылками для повышения эффективности грузовых перевозок. Экономическая оценка с учетом влияния рыночных факторов позволяет разработать гибкую стратегию организации работы флота. Одновременно решается задача формирования конкурентных преимуществ судоходной компании.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** эффективность грузовых перевозок, Амурский бассейн

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Бунеев Виктор Михайлович, докт. экон. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Киберева Ирина Викторовна, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК СУДАМИ СМЕШАННОГО «РЕКА-МОРЕ» ПЛАВАНИЯ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

И.В. Киберева

ASSESSMENT OF EFFICIENCY IN THE ORGANIZATION OF FREIGHT TRANSPORTATION BY MIXED RIVER-SEA-GOING SHIPS  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
I.V. Kibereva

The principal systematic points for assessing the organization of freight transportation by mixed river-sea-going ships are examined.

Изложены основные методические положения оценки эффективности организации грузовых перевозок судами смешанного «река-море» плавания

Методические основы экономической оценки эффективности организации грузовых перевозок на водном транспорте базируются на соответствующих теоретических предпосылках и методологических принципах.

В этом качестве выступают результаты анализа современных тенденций развития теории и практики организации перевозочного процесса на водном транспорте.

На основании проведенного анализа установлено, что широкое распространение при исследовании различных объектов имеет системный подход. Применительно к организации перевозок на водном транспорте это означает, что изучаются основные количественные и качественные изменения, происходящие в исследуемом объекте, как в целостной системе, вскрываются внутренние и внешние противоречия между отдельными ее элементами (подсистемами), а также при взаимодействии с окружающей средой.

Реализуя такой подход, перевозочный процесс доставки грузов представляется как открытая многоцелевая иерархическая структура, непостоянная во времени, сложная управляемая система со всеми присущими ей свойствами.

Схема взаимодействия элементов транспортной системы представлена на рисунке 1

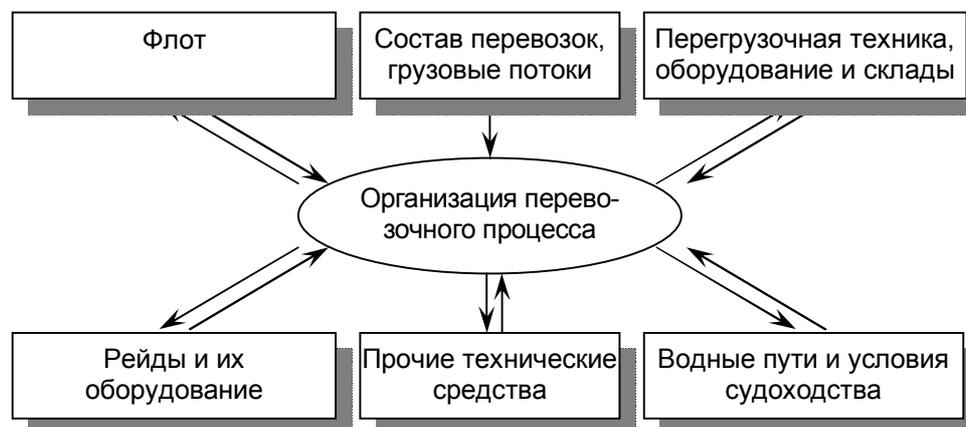


Рисунок 1 – Схема взаимодействия элементов транспортной системы

Исходя из принципов системного подхода проблема экономической оценки эффективности организации грузовых перевозок судами смешанного «река-море» плавания представляется в виде комплекса (системы) оптимизационных задач, решаемых последовательно (рисунок 2).

Исследование поставленной проблемы начинается с установления общих тенденций и закономерностей функционирования и развития речного транспорта. Методической основой решения для этого является комплексный экономический анализ взаимного влияния хозяйственного комплекса региона и транспортной системы, элементом которой является речной транспорт. С одной стороны спрос на грузовые и пассажирские перевозки формируется социально-экономическими потребностями региона, а с другой транспорт оказывает влияние на размещение производительных сил, развитие рынков и социальной сферы, повышение эффективности общественного производства и экономическую безопасность, как региона,

так и страны в целом. Исследование экономических закономерностей и хозяйственных процессов с учетом влияния внешних и внутренних факторов осуществляется с помощью системы показателей [2].



Рисунок 2 – Логическая последовательность решения комплекса задач в составе исследуемой проблемы

Прогнозирование структуры перевозок и грузовых потоков осуществляется на основе результатов выполненного экономического анализа, статистических данных за определенный временной период. При этом устанавливаются тенденции развития грузовых перевозок, в том числе в смешанном «река-море» плавании. Результаты прогноза грузовых перевозок могут быть выражены графическими зависимостями, которые аппроксимируются методом наименьших квадратов в виде уравнений регрессии. Достоверность прогноза и аппроксимации тренда проверяется с помощью коэффициента корреляции, который не должен превышать допустимого значения.

На основе общих объемов перевозок грузов основной номенклатуры определяются перспективы по отдельным наиболее представительным потребителям, пунктам отправления и назначения. Таким образом, определяются характеристики перспективных грузовых потоков.

Окончательные результаты прогнозирования структуры перевозок и грузовых потоков, а также итоговые выводы используются для уточнения установленных на первом этапе исследований общих тенденций и закономерностей функционирования и развития речного транспорта региона.

Задача разработки возможных альтернативных схем и способов организации перевозок грузов характеризуется, прежде всего, множеством различных технических средств, непосредственно участвующих в перевозочном процессе, а также обслуживающих его. При этом необходимо учитывать следующие требования к качеству транспортного обслуживания:

- полное удовлетворение потребности в грузовых перевозках;
- соблюдение установленных либо договорных сроков доставки грузов;
- обеспечение сохранности грузов;
- регулярность перевозок с определенным ритмом (ритмичностью);
- культура транспортного обслуживания;
- экологическая безопасность и снижение уровня загрязнения природной среды.

В зависимости от конкретных условий эксплуатации технических средств перевозки и перегрузки возможны следующие основные варианты схем и способов доставки грузов в смешанном «река-море» плавании:

- 1) немаршрутная схема перевозок с использованием на речном участке судов разряда

«Р» или «О», а на морском – морских с перевалкой груза в устье реки;

2) маршрутная схема с использованием на всем пробеге судов озерного типа, переоборудованных для плавания на морском участке;

3) маршрутная схема с использованием специализированных судов смешанного «река-море» плавания;

4) лихтеровозная система;

5) баржевозная система;

6) барже-буксирные составы.

Анализ перечисленных вариантов схем и способов перевозки грузов в смешанном «река-море» плавании показывает, что реализация их в полном объеме не возможна без дополнительных инвестиций. Следовательно, они должны быть включены в состав показателей и критериев экономической оценки. Тогда задача выбора оптимального варианта может быть решена методами обоснования инвестиционных проектов [1].

Влияние рыночных факторов на схемы и способы перевозки грузов проявляется в форме экономического риска. В общем виде риск характеризуется степенью разброса возможных результатов от средней ожидаемой величины. Он оценивается показателем среднеквадратического отклонения и коэффициентом вариации.

Средняя ожидаемая величина принятого критерия эффективности рассчитывается по выражению

$$C_i = \sum_{j=1}^m C_{ij} \cdot P_j,$$

где  $i$  – признак альтернативного варианта схемы и способа перевозки грузов,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;

$j$  – признак сценария развития рынка транспортных услуг либо прогноза судоходных условий,  $j = 1, 2, \dots, m$ ;

$C_{ij}$  – значения критерия эффективности по  $i$ -ому варианту схемы и способа перевозок грузов и по  $j$ -ому сценарию развития рынка транспортных услуг или прогноза судоходных условий;

$P_j$  – вероятность  $j$ -ого сценария развития рынка транспортных услуг.

Разброс значений критерия эффективности относительно ожидаемой величины отражает степень риска и определяется по формуле

$$\sigma_{ij} = \sqrt{\sum_{j=1}^m P_j (C_{ij} - C_i)^2}.$$

Оценка величины экономического риска под влиянием рыночных факторов при выборе варианта схемы и способа перевозок грузов сводится к сопоставлению показателей: ожидаемая величина критерия эффективности – риск ( $C_i, \sigma_i$ ). На основе выбранного таким образом варианта может быть сформирована транспортно-логистическая система доставки грузов, как наиболее рациональная организационная форма.

Задача обоснования оптимального плана работы флота традиционно входит в состав проблемы организации перевозок. Рассмотрим особенности ее решения с учетом оценки влияния рыночных факторов и с помощью экономико-математической модели в параметрическом виде. Для этого введем следующие обозначения:

$i$  – признак типа судна;

$j$  – направление перевозок либо участок работы флота;

$t_{эi}$  – период эксплуатации  $i$ -ого типа судна, сут.;

$t_{ij}$  – период работы  $i$ -ого типа судна на  $j$ -ом направлении, сут.;

$t_{oi}$  – простои  $i$ -ого типа судна по различным причинам (метеоусловия, ограничения по эксплуатации и др.), сут.;

$Q_{ij}$  – загрузка  $i$ -ого типа судна при перевозке грузов на  $j$ -ом направлении, т;

$\Delta Q_{ij}$  – величина отклонения загрузки  $i$ -ого типа судна на  $j$ -ом участке из-за изменения глубины судового хода по сравнению с базовым значением, т;

$n_{ij}$  – количество оборотов, выполненных судном  $i$ -ого типа на  $j$ -ом направлении, ед;

$G_j$  – общее количество грузов, которое необходимо перевезти в базовом варианте

- на  $j$ -ом направлении, т;
- $\Delta G_j$  – диапазон изменения объема перевозок на  $j$ -ом направлении по сравнению с базовым вариантом, т;
- $\mathcal{E}_{ij}$  – эксплуатационные расходы по  $i$ -ому типу судна при перевозке грузов на  $j$ -ом направлении, руб.;
- $C_{ij}$  – неявные издержки, учитывающие стоимость груза за время его транспортировки в судах  $i$ -ого типа на  $j$ -ом направлении, руб.;
- $\Phi_i$  – наличие судов  $i$ -ого типа, ед.;
- $X_{ij}$  – количество судов  $i$ -ого типа, необходимых для освоения перевозок на  $j$ -ом направлении, ед.;
- $\Delta X_{ij}$  – диапазон изменения потребности в судах  $i$ -ого типа при отклонении объема перевозок на  $j$ -ом направлении от базового варианта, ед.;
- $\alpha$  – коэффициент использования пропускной способности перегрузочного пункта по времени;
- $P_j$  – пропускная способность перегрузочного пункта на  $j$ -ом направлении перевозок;
- $\Pi_{ij}$  – пропускная способность лимитирующего участка водного пути по  $i$ -ому типу судна на  $j$ -ом направлении перевозок, ед.

И так, требуется распределить имеющиеся в наличии суда по направлениям перевозок с учетом возможного изменения объема перевозок в заданном диапазоне, а также колебания глубины судового хода.

Решение находится в определенном диапазоне

$$X = \{x_{ij} \pm \Delta x_{ij}\}.$$

Функция цели имеет вид

$$\sum_j [(\mathcal{E}_{ij} + C_{ij}) \cdot (x_{ij} \pm \Delta x_{ij})] \rightarrow \min.$$

Условия выполнения заданного объема перевозок

$$\sum_i n_{ij} [(Q_{ij} + \Delta Q_{ij}) \cdot (x_{ij} \pm \Delta x_{ij})] > G_j \pm \Delta G_j.$$

Ограничения по флоту

$$\sum (x_{ij} \pm \Delta x_{ij}) \leq \Phi_i.$$

Ограничения по пропускной способности перегрузочного пункта

$$\sum_j [x_{ij} (Q_{ij} + \Delta Q_{ij})] \leq \alpha P_j.$$

Ограничения по пропускной способности лимитирующего участка водного пути

$$\sum (x_{ij} \pm \Delta x_{ij}) \leq \Pi_j.$$

Условие не отрицательности переменных

$$x_{ij} \geq 0.$$

Реализация приведенной модели с помощью пакета компьютерных программ обобщенной транспортной задачи позволяет получить несколько решений в зависимости от вероятности сценария развития рынка транспортных услуг и судоходных условий. По каждому из них определяется сумма эксплуатационных расходов, доходов и прибыли.

Анализ полученных данных с учетом величины экономического риска служит основой для принятия оптимального плана работы флота и оценки эффективности организации перевозочного процесса.

Исследование рассматриваемой проблемы завершается экономической оценкой эффективности организации перевозочного процесса при доставке грузов судами смешанного «река-море» плавания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бунеев, В.М. Стратегия формирования рациональной структуры технических средств речного транспорта / В.М. Бунеев, И.А. Рагулин. -Новосибирск: Сибир. соглашение, 2002. -

184 с.

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

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* эффективность грузовых перевозок, суда смешанного «река-море» плавания

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* Киберева Ирина Викторовна, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:* 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**В.Д. Верескун**

### **SYSTEM RESEARCHES AND MODELING OF RAILWAY COMPLEX MANUFACTURING SYSTEMS**

«Siberian Transport University»

V.D. Vereskun

The main approaches to researches of railway complex manufacturing systems are given in the article, the principle of virtual control and conceptually-logical model of system are suggested.

Выполнен анализ состояния и направления совершенствования управления производственными системами железнодорожного комплекса.

Актуальность исследуемой проблемы обусловлена глубокими научно-техническими и институциональными преобразованиями, происходящими в процессе глобализации мировой экономики и становления организационно-правовых основ рыночной экономики. Критическим фактором ее развития становятся транспортные системы (ТС). Транспортно-логистический комплекс приобретает статус приоритетных задач государственной деятельности. Транспортная инфраструктура становится стратегическим элементом развития экономики России.

В «Транспортной стратегии РФ» в качестве стратегических задач национальной транспортной системы выделены следующие: развитие единого экономического пространства, ускорение товародвижения, снижение удельных транспортных издержек; обеспечение территориальной транспортной доступности на уровне, обеспечивающем социальную стабильность, развитие межрегиональных связей и национального рынка труда; интеграция России в мировую экономику и диверсификация внешней торговли, повышение конкурентоспособности отечественных перевозчиков, развитие экспорта транспортных услуг. Изменение геополитической ситуации и позиционирования России в мировом сообществе выдвигает новые требования к транспорту как элементу системы национальной безопасности, обеспечение антитеррористической безопасности на транспорте; построение транспортной политики РФ на основе принципов устойчивого развития регионов; ответственность перед будущими поколениями за сохранение природных ресурсов и улучшение условий жизни населения.

Современные экономические условия и научно-технический уровень развития транспортных систем требуют коренной внутренней перестройки всех типов и организационно-правовых форм формирования новых социально-экономических отношений, производственных систем на базе инновационных технологий и систем управления. В настоящее время это реализуется в рамках реформирования железнодорожного транспорта.

Вместе с тем новая парадигма развития научных знаний ставит проблему единства понимания новых понятий, категорий, методов и принципов организационных изменений транспортных систем в пространстве и времени. Современное развитие вычислительной техники, международных информационных сетей и технологий позволяют выдвинуть гипотезу о закономерности возникновения нового научного направления в общей теории управления - управления виртуальными организациями. К основным конкурентным преимуществам виртуальных организаций относятся скорость выполнения рыночного заказа, возможность снижения совокупных затрат, что предусматривается транспортной стратегией, более полного удовлетворения потребностей заказчика, гибкой адаптации к изменениям окружающей среды, снижения барьеров выхода на новые рынки Европы и стран Тихоокеанского бассейна. Процесс развития сетевых и виртуальных форм организаций характеризуется отставанием фундаментальных научных исследований от практического опыта.

Опережающие теоретические исследования природы виртуального управления, выяснение существенных особенностей и отличий от классических методов должны дать ответы на вопросы о взаимосвязи и взаимообусловленности протекания виртуальных процессов в искусственных условиях и информационной действительности реальных процессов и явлений.

Транспортные системы в своем составе содержат необходимые признаки виртуальных организаций. Решение проблемы формирования и управления ими позволит выйти на качественно новый уровень функционирования транспортных систем и обеспечить рост эффективности экономики.

Одним из важных приоритетов транспортной политики России является развитие производственных систем железнодорожного транспорта как основы транспортной идеологии. Железнодорожный комплекс является базисом, на котором основывается разработка прогрессивных технологий перевозочного процесса и новых систем управления. Железнодорожный комплекс, представляющий собой сверхсложную систему, на базе научно-технического прогресса призван обеспечить своевременную реализацию транспортно-экономических связей в соответствии с заказами и договорами на перевозку грузов и пассажиров при заданном уровне надежности технических транспортных средств и перевозочного процесса, безопасности движения поездов и технологических процессов, сохранности перевозимых грузов и пассажиров. В современных экономических условиях это требует новых подходов через разработку бизнес-процессов, организационных структур, новой методологии управления. Решение поставленных задач на новой идеологической основе возможно на основе тщательного изучения и глубокого анализа деятельности технических и технологических процессов всех служб железнодорожного комплекса.

Анализ перевозочного процесса и системы управления эксплуатационной работой позволил выработать прогрессивные принципы, заключающиеся в:

- разработке научно-обоснованных технологических процессов сортировочных, участковых, грузовых, пассажирских и других типов станций, депо, ПТО, железнодорожных узлов, направлений с использованием методов имитационного моделирования, экономико-математических методов с глубоким экономическим обоснованием вариантов;
- дифференциации технологии перевозочного процесса и графика движения поездов, исходя из экономической целесообразности с учетом характеристик грузов;
- обеспечения надежности и безопасности работы.

Анализ работы с клиентами, занимающей процесс полного технологического цикла взаимодействия с пользователями услуг железнодорожного транспорта по организации перевозок на основе электронного документооборота выявил целесообразность структурирования ряда функций управления по сбору заявок и планированию перевозок грузов; подготовке перевозочных документов, учету дополнительных сборов, централизованному расчету провозной платы, учету выполнения заявок на перевозку, хранения данных по перевозкам и состоянию расчетов за перевозки, взаимодействию с автоматизированной системой управления перевозками грузов; автоматизированным рабочим местом работников грузовой станции.

В станционной работе, предопределяющей качество, надежность, безопасность транспортной деятельности, играющей ведущую роль в организации информационно-управляющего обеспечения перевозочного процесса, ритмичной и поточной технологии, рациональном взаимодействии с грузоотправителями, грузополучателями, в организации сервиса и культурного обслуживания пассажиров, определяющим является уровень организации и технического оснащения комплексов, оказывающих прямое воздействие на технологические процессы станций и производительность их работы.

Модернизация производственных процессов на железнодорожном транспорте на среднесрочную перспективу на третьем этапе реформирования представляется через формирование целевых производственных структур железнодорожного транспорта: дирекции сбыта – центров фирменного транспортного обслуживания; дирекции управления движением; дирекции тяги; дирекции по ремонту пути; дирекции по ремонту сетей и объектов электрификации и электроснабжения; центра обследования и диагностики инженерных сооружений; дирекции инфраструктуры и др.

Совершенствование производственных систем железнодорожного комплекса в современных условиях основано на принципе изменения технологических процессов в производственно-хозяйственной деятельности: применении гибких автоматизированных технологий;

углублении межфирменного сотрудничества, в том числе на международном уровне в области специализации и кооперирования производства, выполнения крупных совместных научно-производственных программ и соглашений об экономическом и научно-техническом сотрудничестве; создании совместных производственных предприятий не только в области перевозок, но, в особенности, в наукоёмких перспективных секторах транспорта.

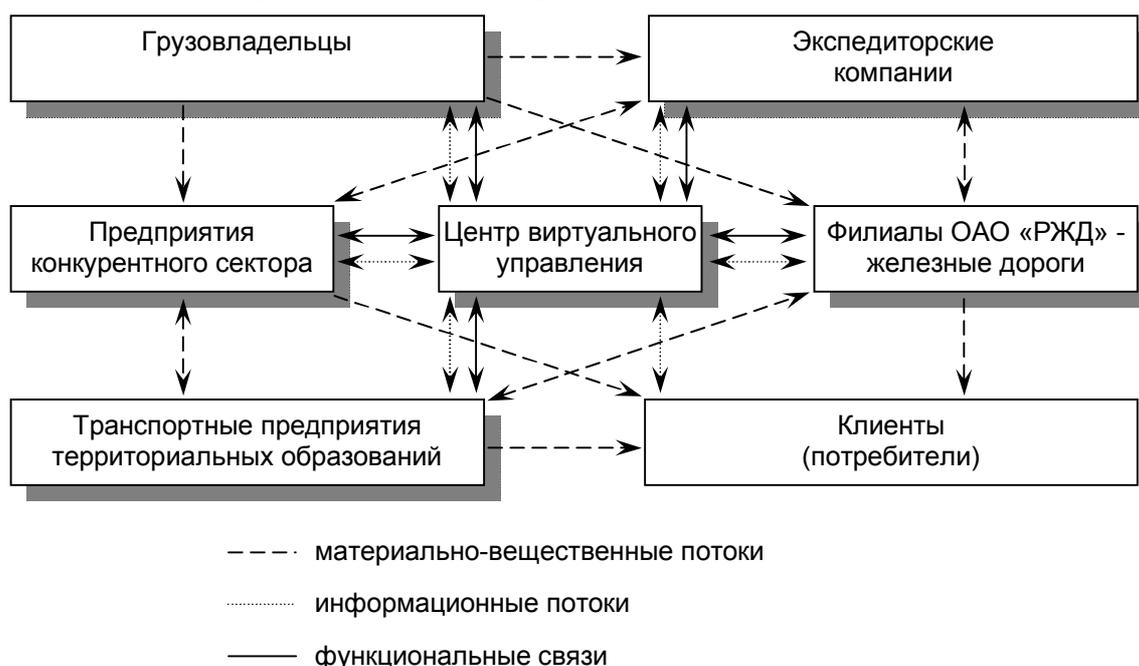
Менеджмент современных организаций испытывает непосредственное воздействие тенденций интернационализации и глобализации и под их влиянием обретает новые формы и принципы, коренным образом меняя организационные ценности. Актуальными факторами формирования организационных структур становятся:

- *Оптимальность*. В классической теории управления структура управления признается оптимальной, если между звеньями и ступенями управления на всех уровнях устанавливаются рациональные связи при наименьшем числе ступеней управления;
- *Оперативность*. Она состоит в том, чтобы за время от принятия решения до его исполнения в управляемой системе не успели произойти необратимые отрицательные изменения, делающие ненужной реализацию принятых решений;
- *Надежность*. Обеспечение безопасности перевозок, в том числе за счет повышения достоверности передачи информации в структурах аппаратов управления;
- *Экономичность*. Достижение нужного эффекта от управления при минимальных затратах на управленческий аппарат;
- *Гибкость*. Способность изменяться в соответствии с изменениями внешней среды;
- *Устойчивость структуры управления*. Неизменность ее основных свойств при различных внешних воздействиях.

Учитывая постоянные изменения, происходящие на предприятии непосредственно после внедрения определенной структуры управления, и носящие не коренной характер, и, тем не менее, оказывающие влияние на работоспособность и устойчивость всей структуры, вышеописанные требования к организационным структурам требуют определенной корректировки существующих на сегодняшний день структур в различных фазах жизненного цикла предприятий.

Варианты организационных форм управления и соответствующие им логико-информационные модели дают основной материал для разработки предложений по информационным технологиям.

В качестве варианта можно предложить следующую структуру управления бизнес-процессами железнодорожного комплекса (рисунок 1).



*Рисунок 1 – Структура управления бизнес-процессами железнодорожного комплекса*

Дальнейшее совершенствование управления производственными процессами железнодорожного комплекса возможно на путях развития инновационных технологий производ-

ственных процессов, методов и средств управления производственными предприятиями и транспортной системой в целом.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** производственные системы, системный анализ, модель  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Верескун Владимир Дмитриевич, канд. техн. наук, ректор ГОУ ВПО «СГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

## ОБОСНОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ВНЕШНЕТОРГОВЫХ ПЕРЕВОЗОК ВОДНЫМ ТРАНСПОРТОМ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.М. Бунеев, И.П. Чернышов

**JUSTIFICATION TO THE ORGANIZATION OF FOREIGN TRADE TRANSPORTATION BY WATER**  
«Novosibirsk state academy of water transport»

V.M. Buneev, I.P. Chernyshov

The systematic foundations of economic justification to the organization of foreign trade transportation by water.

Изложены методические основы экономического обоснования организации внешнеторговых перевозок, осуществляемые водным транспортом

Методической основой экономического обоснования организации внешнеторговых перевозок являются научные подходы и принципы, предусматривающие комплексность и системность исследования рассматриваемого объекта. С этих позиций транспортный процесс представляется как система, состоящая из комплекса последовательных взаимосвязанных элементов, начиная с приема грузов к перевозке в пункте отправления грузов, затем хранения на складе в ожидании погрузки, погрузка на судно, транспортировка до пункта назначения, хранение на складе и завершается – выдачей груза получателю. Отличительная особенность внешнеторговых перевозок по сравнению с традиционными грузовыми перевозками – таможенное оформление, выделяется как самостоятельный элемент.

С другой стороны транспортный процесс является неотъемлемой частью системы более высокого порядка – воднотранспортной. В нее входят и другие составляющие (подсистемы): транспортный флот; перегрузочные машины и оборудование; склады; рейды и их оборудование; таможня; система управления движением товара; международные отношения и внешнеэкономические связи; система безопасности, страхования и экология (рисунок 1).

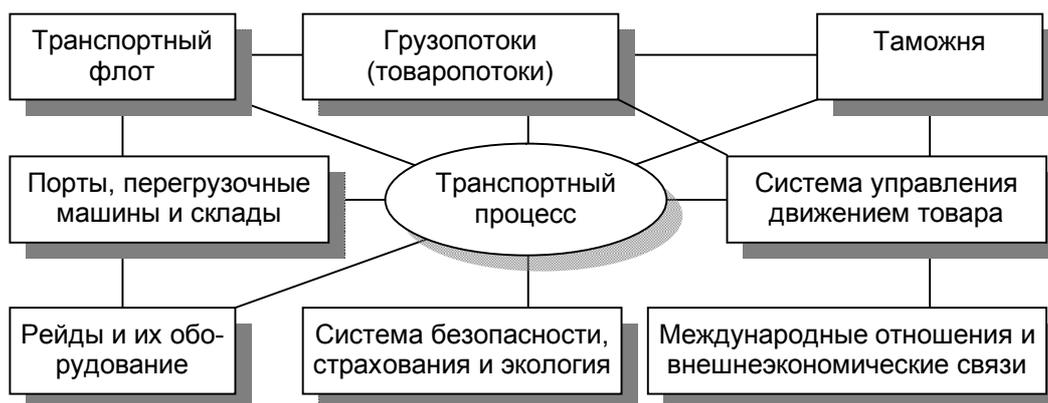


Рисунок 1 – Схема взаимодействия элементов (подсистем) воднотранспортной системы при организации перевозочного процесса

Такой подход к исследованию поставленной проблемы дает возможность достаточно глубоко изучить свойства системы «организация транспортного процесса внешнеторговых грузов» и учесть их при рассмотрении ее в целом и отдельных элементов, способствует установлению внутренних и внешних связей, а также позволяет комплексно решать задачи, возникающие при функционировании данной системы.

Решение проблемы экономического обоснования организации внешнеторговых перевозок осуществляется посредством декомпозиции ее на отдельные оптимизационные задачи,

обмена полученными решениями и рассмотрению их в составе задачи более высокого порядка. После решения ее реализуется задача более низкого порядка, затем на основании полученных данных производится возврат к предыдущей задаче (более высокого порядка) и уточняется в деталях ее решение (рисунок 2).



Рисунок 2 – Логическая последовательность решения задач обоснования организации внешнеторговых перевозок

И так, обоснование организации внешнеторговых перевозок начинается с прогнозирования структуры перевозок и грузовых потоков на основе исследования экономических процессов как внутри страны, так и за рубежом. Анализируется размещение производительных сил, развитие общественного производства и рынков, обеспеченность их транспортным обслуживанием. Устанавливается роль и влияние транспортного фактора на социально-экономическое развитие и воспроизводственные процессы. Производится глубокий системный анализ рынка транспортных услуг по перевозке грузов и товаров с выделением внешнеторговых перевозок, осуществляемых водным транспортом. Исследуются материальные потоки и направления их движения, определяется потребность в сырьевых, топливно-энергетических и других видах ресурсов, полуфабрикатов и готовой продукции по отраслям экономики, территориальным делениям и предприятиям района тяготения водного транспорта. Достоверность прогнозируемых грузопотоков (товаропотоков) зависит от множества факторов и, прежде всего от уровня информационного обеспечения, полноты необходимых исходных данных.

В связи с этим план внешнеторговых перевозок и корреспонденция грузовых потоков, которые формируются по результатам выполненного прогноза, рекомендуется представить в трех вариантах. Один из них – базовый, вероятность прогноза которого достаточно высокая; второй – пессимистический со 100 %-ой вероятностью; третий – оптимистический, вероятность прогноза которого невысока.

Далее исследуются условия осуществления транспортного процесса: физические и эксплуатационные характеристики водного пути, наличие портов-убежищ и расстояние между ними, метеорологические условия; технологические схемы обработки судов в портах, их техническая характеристика, наличие складов, рейдов, подъездных железнодорожных путей; таможенное оформление документов на груз; техническое, технологическое и экономическое взаимодействия водного транспорта с наземным в портах (транспортных узлах).

Здесь же уточняются требования к организации транспортного процесса. Основной перечень их приведен в работе [1]. К нему следует добавить проблемы обеспечения экологической безопасности; повышенные требования к культуре транспортного обслуживания, соблюдающиеся в международных правилах перевозки различных грузов и товаров.

На основании полученных на втором этапе исследования производится возврат к зада-

че нового уровня и уточняются структура перевозок и характеристики грузовых потоков. Таким образом, формируется исходная информационная база для решения других оптимизационных задач в системе исследования.

На третьем этапе формируется система критериев и показателей оценки эффективности организации транспортного процесса. Основой для этого являются цели, преследуемые участниками транспортного процесса. Их можно охарактеризовать как максимум выгоды для судоходных компаний и других перевозчиков – максимум доходов и прибыли, для грузовладельцев – минимум транспортных, сопутствующих и внутренних неявных издержек. Кроме того, необходимо учесть влияние уровня (степени) экономических рисков на их величину, а также специфику внешнеторговых перевозок. Поскольку партнерами российских потребителей транспортных услуг являются иностранные фирмы экономические затраты следует выразить в валютных измерителях.

При обосновании способов перевозки грузов и типов судов для осуществления внешнеторговых перевозок намечаются возможные альтернативные варианты: пакетирование и контейнеризация, ролкерная и лихтеровозная системы. Следует иметь в виду, что внешнеторговые перевозки, осуществляемые водным транспортом являются элементом транзитной системы мультимодальных и интермодальных перевозок, что необходимо учитывать в экономическом обосновании их организации. Выбор типов судов здесь осуществляется с учетом рассматриваемых способов перевозок: навалом (насыпью), в таре, без тары, на поддонах, в контейнерах, в трейлерах (горизонтальный способ погрузки) и т.д. В соответствии с этим суда делятся на две группы: универсальные и специализированные.

Важным элементом транспортного процесса внешнеторговых перевозок является таможенное оформление грузов, которое занимает достаточно продолжительное время. Продолжительность нахождения грузов в морских портах нередко зависит от качества выполнения этих операций. Вся процедура занимает от 3 до 7 суток. Решение задачи ее оптимизации предложено в работе [2]. Предложены следующие мероприятия – введение предварительного документального оформления, сокращение количества ручных операций и автоматизация процесса таможенного оформления.

На следующем этапе исследования разрабатывается проект рациональной организации внешнеторговых перевозок в составе транспортно-технологической системы доставки грузов. Основу таких систем составляют логистические принципы технологии, организации и управления грузовыми перевозками. Она представляет собой взаимоувязанный комплекс различных видов транспорта, а также предприятий, организаций и фирм работающих по единым эксплуатационно-техническим, коммерческо-правовым и экономическим нормативам и правилам, обеспечивающим транспортировку груза «от двери до двери» и «точно в срок», с полной качественной и количественной сохранностью, с минимальными затратами трудовых и материальных ресурсов.

В проекте рациональной организации необходимо предусматривать рейсовую форму движения флота, отражающую специфику внешнеторговых перевозок; календарный график отправления и прибытия судов в порты; технические нормы времени на выполнение операций транспортного процесса; технический процесс обработки судов в портах в составе единого технологического процесса работы портов и железнодорожных станций, а также другие документы, регламентирующие организацию внешнеторговых перевозок.

На последнем этапе исследования рассчитываются показатели экономической эффективности организации транспортного процесса перевозки внешнеторговых перевозок. В составе комплекса этих показателей рекомендуется предусмотреть не только экономические, но эксплуатационные (производственные) показатели, а так же характеризующие качество транспортных услуг. По результатам их анализа принимается окончательное решение выбора варианта организации перевозок. При необходимости производится возврат к предыдущей задаче для корректировки и уточнения ее решения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бунеев, В.М. Современные тенденции развития теории организации транспортного процесса / В.М. Бунеев // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока: науч. журн. / Новосибир. гос. акад. водн. трансп. -2003. -№2. -С. 9-17.

2 Чернышов, И.П. Совершенствование транзитной системы доставки грузов на этапе таможенного оформления / И.П. Чернышов // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Вос-

тока: науч. журн. / Новосибир. гос. акад. водн. трансп. -2008. -№1.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *внешнеторговые перевозки, водный транспорт, эффективность*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Бунеев Виктор Михайлович, докт. экон. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»*  
*Чернышов Иван Павлович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

## **ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИЧАЛОВ В СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ, СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД**

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

**А.В. Егоров**

**ECONOMIC SUBSTANTIATION OF EXPLOITING AND TECHNICAL RIVER PORT PARAMETERS IN SIBERIAN REGION, THE ACTUAL METHOD OF APPROACH**

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

A.V. Egorov

The article contains information about actual problems by economic substantiation of technical river port parameters in Siberian region. Author points out the path to improve the process of project substantiation with an application of analytical expert methods.

Описаны современные проблемы экономического обоснования технических параметров речных причалов в Сибирском регионе. Указаны направления усовершенствования процесса проектного обоснования с применением аналитических методов.

Речной транспорт Сибири, ввиду весьма отличной от европейской части России обеспеченности капитальных автомобильных и железных дорог, в настоящий момент сохраняет свои конкурентные преимущества. Он востребован и способен эффективно функционировать. В настоящий момент, очевидно закрепление отдельных сегментов рынка транспортных услуг за этим видом транспорта. В первую очередь стабильным является сектор доставки строительных материалов, оборудования и изделий для месторождений полезных ископаемых. С определенной стабильностью в Обь-Иртышском бассейне уделяется внимание развитию пассажирских перевозок. Относительно стабильными до последнего времени были перевозки нефтепродуктов и нерудных строительных материалов.

В подтверждение тому можно привести стабильный спрос на проектирование причалов и причальных комплексов в ОАО «Сибречпроект» (г. Новосибирск). В среднем около 30% загрузки приходится на грузовые причалы крупных нефтегазодобывающих, алмазодобывающих компаний. О востребованности пассажирских перевозок свидетельствуют выполненные за последние 5-10 лет проекты пассажирских комплексов (Ханты-Мансийск, Березово, Салехард, Сургут, Селиярово).

Несмотря на указанную востребованность данного вида транспорта, он имеет ряд особенностей, существенно влияющих на принципы обоснования проектных решений на различных стадиях формализации инвестиционных замыслов. В первую очередь это сезонность (как эксплуатации, так и строительства). Что же касается причалов для завоза грузов на объекты освоения месторождений, то их особенностью является срок службы и распределение по годам загрузки причальных сооружений (грузооборот). Так как в структуре транспортных издержек затраты по строительству и эксплуатации причальных сооружений составляют значительную долю, назначение оптимальных эксплуатационно-технических характеристик объекта становится приоритетной задачей инвестора и проектировщика.

Анализ всего перечня проблем, связанных с необходимостью повышения степени обоснованности эксплуатационно-технических параметров строящихся и реконструируемых объектов портового хозяйства не укладывается в рамки одной статьи, в связи с чем ниже по тексту определены основные из них, указаны направления их решений и дальнейших исследований.

Главной целью обоснования эксплуатационно-технических параметров объектов портового хозяйства является минимизация полных экономических издержек, как главного критерия оценки предпочтительного варианта проектного решения. Данный тезис справедлив при равенстве доходной составляющей в сравниваемых вариантах.

Принятый в последнее время при проектировании грузовых причалов подход основан на поэтапном обосновании, что не противоречит опробованным за рубежом подходам к управлению инвестиционным проектом. Выделяется, как правило, два-три этапа обоснова-

ния. Каждый последующий из них характеризуется большей степенью проработки вариантности, более высокой точностью определения объемных и ценовых показателей инвестиционного проекта [1].

Проблемы обоснования можно разделить укрупненно на три группы:

Первая – наличие у инвестора возможности, средств и времени для сбора полного перечня исходных данных для обоснования;

Вторая – степень достоверности и полнота собранных исходных данных;

Третья – методические проблемы выполнения расчетов.

К первой и второй группе в первую очередь относятся проблемы, связанные с данными по инженерным условиям площадки строительства, по планируемой производственной программе, текущей и прогнозируемой стоимости ресурсов. Также к этим проблемам относятся трудно предсказуемые на дальнейших стадиях реализации проекта требования третьих лиц (технические условия, условия землепользования и т.д.) [2].

К третьей группе (методические проблемы) следует в первую очередь отнести сложность приведения стоимостных показателей объекта-аналога к проектным условиям. Как показали исследования, предполагаемые капитальные затраты, в зависимости от выбора объекта-аналога и конкретного специалиста-эксперта, выполняющего расчет, могут отличаться на величину до 60%. Существенные различия в результатах дают также различные подходы к определению стоимости отдельных объектов, входящих в причальный комплекс[3].

Ввиду указанных проблем, расчеты инвестиционных издержек на предварительной стадии обоснования могут давать ошибки до 50 %.

В качестве основных путей решения указанных выше проблем предлагается следующее:

1 Выделение наиболее дорогостоящих элементов причального комплекса, с целью более детального определения объемных и ценовых показателей реализации проекта.

2 Применение экспертных оценок на базе объектов-аналогов по нормированию стоимости менее существенных составляющих капитальных затрат.

3 Применение ресурсного метода стоимостной оценки элементов, указанных в п.1.

4 Анализ технических и финансовых возможностей заказчика и потенциальных подрядчиков.

5 Многофакторный анализ структуры затрат по вариантам технологических и конструктивных решений причального комплекса.

Первое и второе предложения основаны на том, что, к примеру, в стоимости причалов, строящиеся на вновь образующихся (подсыпкой, намывом) территориях, затраты в само причальное сооружение, акваторию, водные подходы и территорию будут составлять до 50-60%. Оценив эти сооружения по укрупненным объемам с учетом реальной стоимости ресурсов степень достоверности расчетов будет повышена. Тем более, при таком подходе более четко решается важный подпроцесс обоснования – выбор оптимальной площадки размещения причала. Несмотря на то, что размещение причала, как правило, тяготеет к объекту снабжения, конкретная посадка сооружения определяется экономическим обоснованием, которое предпочтительно выполнять с совмещением подходов применения смет-аналогов и составлением новых смет по укрупненным объемным показателям. Тем не менее, как показал опыт, каждый конкретный объект требует некоторой адаптации этого методического подхода к условиям объекта. Это целесообразно производить экспертно.

Третье предложение основывается на результатах практической деятельности автора в рамках авторского надзора за строительством гидротехнических сооружений. Существующая сметно-нормативная база не всегда отражает реальную конъюнктуру цен на строительные материалы (с учетом их транспортировки). В ряде регионов отсутствуют привязанные расценки на применяемый в проекте материал. К примеру, Департамент строительства Ямало-Ненецкого автономного округа использует территориальную расценку на шпунт типа Ларсен, применение которой к шпунтам другого профиля некорректно. Аналогичная ситуация складывается с ценами на каменные строительные материалы на территории Тюменской области.

Применение предложенного подхода на практике дает положительный эффект, проявляющийся в повышении точности оценки объема капитальных вложений на предварительной стадии. Ошибка при предварительном определении бюджета строительства обычно составляет до 10% от сметы составленной по рабочим чертежам.

Анализ технических и финансовых возможностей заказчика и подрядчика направлен, в

основном, на выбор наиболее предпочтительного варианта проектного решения из числа предварительно разработанных. Критерии выбора при этом могут основываться не обязательно на дешевизне варианта, но так и на сроках его реализации, снижении рисков за счет использования собственной или партнерской производственной базы (например по выполнению ЖБК), технологически отработанных методов строительства, наличия собственных механизмов и т.д.

Многофакторный анализ объединяет все другие методические предложения и заключается в логическом выявлении факторов, наиболее существенно влияющих на реализацию проекта. Выявление этих факторов с возможным привлечением специалистов-экспертов, как из числа проектировщиков, так и заказчика с подрядчиком, позволит инвестору выполнить анализ чувствительности проекта, а также определиться с наименее рискованным вариантом эксплуатационно-технического решения.

С определенной степенью допущений описанный выше подход был реализован на ряде объектов, в результате чего автор может с уверенностью отметить, что проектная организация самостоятельно не в полной мере может выполнить качественное обоснование эксплуатационно-технических решений. Имели место случаи, когда рабочая стадия проектной документации перерабатывалась более двух раз, к примеру, причалы базы производственного обслуживания в п. Витим. Свои коррективы вносят ценовые изменения, технологические возможности подрядчика, природно-климатические факторы, изменения финансового состояния, производственной программы и т.д.

Если описанные выше фактически коммерческие методические подходы уже нашли отражение в практике проектирования и показывают результативность в части повышения точности прогнозов, то есть и ряд методических вопросов не нашедших отражения в исследованиях темы обоснования строительства причалов.

Специфика речного транспорта Сибирского региона заключается в том, что фактически построенные причалы, работающие с резервом пропускной способности и являющиеся временными, строятся зачастую в непосредственной близости к малодоступным населенным пунктам, не имеющим капитальных причальных сооружений.

Строительство грузовых причалов в настоящее время осуществляется, как правило, за счет средств частного инвестора, который в своих предпочтениях склонен с одной стороны минимизировать капитальные и эксплуатационные затраты по объекту, с другой быть полноправным его владельцем. Тем не менее, при решении такой оптимизационной задачи, зачастую, было бы корректно рассмотреть ряд внешних факторов, которые прямо или косвенно могут повлиять на выводы. Такого рода, выявленными на практике внешними для инвестора факторами, к примеру, могут быть: возможность коммерческой кооперации, возможность некоммерческой социальной эффективности. Расшифровать эти понятия можно на нескольких примерах.

Как показывают проведенные исследования, вновь проектируемые грузовые причалы частных инвесторов, как правило, имеют существенный резерв пропускной способности. Тем не менее, в районе, тяготеющем к причалу есть организации, имеющие потребность в приемке грузов, но не имеющие для этого собственного причального комплекса. В таком случае, в составе обоснования целесообразно рассматривать варианты, как долевого инвестирования, так и варианты совместной эксплуатации или дополнительного коммерческого использования объекта. В данном случае, принцип выбора оптимального варианта по минимуму экономических издержек также сохраняется, но уже в расчет включаются другие факторы, которые, например, могут повлиять на размещение площадки строительства (в том случае, если «пользователей» причала несколько). Хотя на практике, с учетом российской специфики, реально трудно внедрить такую кооперацию. Так, например, при проектировании причала нефтепродуктов для ОАО «Сургутнефтегаз» в п. Витим на р. Лена возникла спорная ситуация между инвестором и Ленским бассейновым управлением водных путей и судоходства по поводу принадлежности участка берега под строительство причала. Двум организациям требуется строительство объекта одного и того же назначения, при этом суммарный грузооборот по поступлению грузов относительно невелик и покрывался бы пропускной способностью одного сооружения. Кооперация в данном случае в любом виде была бы выгодна обеим организациям, но этот вопрос по данным автора так и не решен с 2005 года.

Даже в отсутствие на момент обоснования конкретной партнерской организации для создания такого альянса, целесообразно рассматривать и социальные аспекты при выборе эксплуатационно-технического варианта причала. К примеру, в пос. Новый порт предусмат-

ривалось строительство причала совмещенной технологии для Надымгазпрома. Очевидно, в условиях неудовлетворительного причального сооружения в поселке, строительство причала частным инвестором однозначно имело бы социальный эффект за счет увеличения занятости населения, решения вопросов приемки грузов народного потребления. Следует отметить, что в национальных округах при выставлении требований по условиям землепользования местные власти пытаются таким образом решать социальные вопросы, связанные с занятостью населения.

Имел место и другой пример частичного решения социально-экономической задачи за счет строительства грузового причала в п. Хулимсунт на р. Северная Сосьва. За счет строительства трансформаторной подстанции на причале с резервом мощности предполагалось решить вопрос энергоснабжения посёлка.

Конкретный механизм учета такого рода социальных или социально-экономических факторов требует методического уточнения.

Есть и другие примеры расширения числа факторов, оценка влияния которых может отразиться на результатах обоснования варианта компоновки и набора гидротехнических сооружений в составе проекта причала. Если рассматривать строительство пассажирских набережных (г. Ханты-Мансийск, г. Сургут) или грузопассажирских комплексов (пгт. Березово), то на выбор варианта могут повлиять факторы инвестиционной привлекательности защищаемой территории и, так называемого, предотвращенного ущерба. Дело в том, что строительство причалов (в зависимости от целого ряда объективных и субъективных причин) может решать вопрос образования и защиты территории от ветро-волновой эрозии. В этом случае в качестве условной экономии затрат можно в составе расчетов применять показатели предотвращенного вреда. Аналогичные методики учета такого рода факторов разработаны и рекомендованы Министерством по чрезвычайным ситуациям и Федеральным агентством водных ресурсов [4]. В упрощенном виде Комитетом по природопользованию и экологии Администрации города Сургута с учетом данного подхода выполнена оценка проекта реконструкции пассажирского причала и причала рыбокомбината в г. Сургуте.

В заключение следует отметить, что описанный в настоящей статье многофакторный подход к обоснованию эксплуатационно-технических решений причалов в Сибири в большей мере не требует создания четкого математического описания, так как возможно применение различных существующих методик экономических расчетов. Применение данного подхода должно в первую очередь основываться на методологической работе по выбору необходимой методики и направления экономических изысканий при формировании исходной базы обоснования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бэгьюли, Ф. Управление проектом / Ф. Бэгьюли; пер. с англ. В. Петрашек. -М.: ФАИР-ПРЕСС, 2004. -208 с.

2 Егоров, А.В. Опыт проектирования причалов в составе обустройства и освоения объектов нефтегазовой отрасли в бассейне Нижней Оби / А.В. Егоров // Проектирование путевых работ и русловых сооружений на судоходных реках Сибири: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. водн. трансп., Сибречпроект. -Новосибирск, 2005. -С. 88-95.

3 Егоров, А.В. Проблемы точности определения стоимости строительства причалов на предпроектной стадии / А.В. Егоров // Сиб. науч. вестн.: сб. науч. тр. / Рос. акад. естеств. наук. -Новосибирск, 2006. -Вып. IX. -С. 248-253.

4 Методика оценки вероятностного ущерба от вредного воздействия вод и оценки эффективности осуществления превентивных водохозяйственных мероприятий / ФГУП «ВИЭМС». -Дораб. ред. -М., 2005. -149 с.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* эксплуатационно-технические показатели, речные причалы  
*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* Егоров Алексей Вячеславович, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:* 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

#### **ЛИЗИНГ КАК ЭФФЕКТИВНАЯ ФОРМА ОБНОВЛЕНИЯ РЕЧНОГО ФЛОТА.**

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

**И.В. Беляев**

**LEASING AS THE EFFECTIVE FORM OF UPDATING OF RIVER FLEET**

«Volga state academy of water transport»

I.V. Belyaev

In given article leasing, as the most effective form of crediting, investments is considered. The offered scheme of leasing, can be applied to transport branch, in particular to a problem updating cruise fleet of the Russian Federation.

Лизинг рассмотрен, как наиболее эффективная форма кредитования, инвестиций. Предложенная схема лизинга, может быть применена к отрасли транспорта, в частности к проблеме обновление круизного флота РФ.

В условиях ограниченных инвестиционных возможностей наиболее эффективной формой кредитования, инвестиций, как показывает практика зарубежных фирм, является лизинг. По существу лизинг представляет собой вид инвестиционной деятельности по приобретению средств производства и передаче его по договору за определенную плату, на определенный срок и на определенных условиях. По содержанию лизинг – это нечто среднее между договором аренды и договором о предоставлении кредита. В отличие от аренды в лизинговой сделке, как правило, участвуют три лица: лизингодатель-лизинговая компания-лизингополучатель. Взаимоотношения сторон строятся на условиях договора купли-продажи [1, 2].

Обладая правом пользования не принадлежащим ему имуществом, арендатор не приобретает имущество в собственность, а несет только текущие расходы на аренду имущества.

Лизинговые компании в последние годы активно работают над привлечением новых клиентов. По оценкам ассоциации «Рослизинг», объем отечественного рынка лизинга в период 2000-2007 гг. рос в среднем на 81% в год и достиг в 2007 году уровня в 35,4 млрд. \$.

Рынок лизинга по темпам роста опережает практически все основные финансовые секторы экономики. Растет не только абсолютный размер лизинговых сделок, но и их роль в экономике России.

По итогам 2004 года Россия заняла 11 место в рейтинге «Крупнейших стран по объему лизинговых услуг (таблица 1)

Активно развиваются и региональные рынки лизинга. По оценкам компании «Номос-Лизинг» на нижегородском рынке сегодня работают около 30 компаний.

*Таблица 2 – Сегментация рынка лизинга в 2007 г.*

Предметы лизинга	Доля в общем объеме, %
Железнодорожные транспортные средства	24,4
Грузовой автотранспорт	13,5
Авиационный транспорт (воздушные суда, вертолеты)	5,9
Легковой автотранспорт	5,8
Автобусы и микроавтобусы	2,1
Суда (морские и речные)	0,4
Прочие	47,9

наиболее популярным видом лизинга. Вместе с тем, доля лизинга морских и речных судов самая низкая. Это свидетельствует о большом неиспользованном потенциале лизинга на

*Таблица 1 – Крупнейшие страны по объему рынка лизинга (по итогам 2004 г.)*

Страна (регион)	Годовой объем, \$ млрд.	Прирост за 2003-2004 гг., %	Доля на рынке, %
1 США	220,00	13,4	29,9
2 Япония	74,41	3,4	8,7
3 Германия	55,18	10,7	15,7
4 Италия	29,34	17,1	11,4
5 Великобритания	27,93	-0,3	9,4
6 Франция	27,32	5,7	9,0
7 Канада	18,19	19,0	23,3
8 Испания	14,78	16,5	22,9
9 Австралия	7,45	2,1	20,0
10 Австрия	6,88	31,4	12,3
11 Россия	6,75	85,4	7,5
12 Северная Африка	6,60	15,0	н. д.
13 Нидерланды	6,30	3,4	6,9
14 Швейцария	6,25	-4,6	10,5
15 Швеция	5,88	-2,6	12,7

Сегодня лизинг становится основным инструментом приобретения основных средств производства. Предприятиям трудно найти долгосрочный кредит с авансом (дисконтом) 5-25% без дополнительного обеспечения. В этом случае механизм лизинга становится выгодным, особенно при приобретении транспортных средств (таблица 2) [3]

Как видно из приведенных данных лизинг транспортных средств является

водном транспорте.

Одной из принципиальнейших проблем для транспортной отрасли является проблема обновления транспортных средств.

Если учесть тот факт, что в 2007 году объем перевозок речным круизным флотом России вырос на четверть и составил более 6 млрд. руб., число перевезенных пассажиров превысило 5 млн. человек, при этом доля речных круизов во въездном потоке туристов в Россию составляет 13%, то становится совершенно очевидным, что обновление пассажирского флота является задачей всероссийского масштаба.

По нашему мнению целесообразно строительство нового флота в рамках объединенной судостроительной корпорации на средства государства и лизинговых компаний, с дальнейшей передачей теплоходов в лизинг туристическим операторам. Лизинг как уникальный инвестиционный инструмент, будет способствовать повышению конкурентоспособности российской промышленности, напрямую стимулировать процесс замещения импортной продукции качественными аналогами, повышению занятости населения, росту доходов и т.д. [4].

Следует подчеркнуть, что выгоду от преимуществ лизинга получают как туристические операторы, так и судостроительные компании.

К преимуществам туроператоров (судоходных компаний) можно отнести следующее:

– Лизинговые платежи полностью относятся на себестоимость и уменьшают налогооблагаемую базу по налогу на прибыль. НДС, уплаченный лизинговой компанией, уменьшает платежи по НДС в бюджет. За счет ускоренной амортизации общий период уплаты налога на имущество можно сократить в три раза.

– Схема расчетов по договору лизинга подразумевает равные ежемесячные платежи, что помогает точно рассчитывать бюджет вашего бизнеса на протяжении срока действия договора лизинга и эффективно управлять денежными потоками.

– Лизинг позволяет ускорить оборачиваемость капитала (за счет механизма ускоренной амортизации), что сокращает сроки окупаемости инвестиций

Преимущества при эксплуатации судов:

– Управление экипажами судов передается судоходной компании – лизингополучателю, что существенно упрощает деятельность и снимает с лизингодателя (ФГУП) риски ошибок, неправомερных или неквалифицированных действий экипажа;

– Заключение договора лизинга позволит судоходной компании осуществлять надзор за строительством и эксплуатацией судна, таким образом, ответственность за качество строительства и эксплуатацией судна передается судоходной компании.

Как показывает зарубежный опыт, лизинговый процесс требует, как правило, создания специализированных компаний (организаций), которые осуществляют лизинговые операции, выполняя роль лизингодателей.

В нашем случае в качестве лизингодателя может выступать специализированная лизинговая компания в виде акционерного общества или хозяйственного товарищества. В зависимости от конкретных условий лизингодателями могут выступать банки, страховые компании, фонды, а также непосредственно производители транспортных средств – судостроительные верфи.

Применительно к отраслям транспорта, в частности обновления круизного флота, предлагается следующая схема лизингового процесса (рисунок 1)

Лизинговый процесс осуществляется, как правило, в три этапа. На первом этапе (1-4) проводится подготовительная работа по заключению юридических соглашений (договоров). Этому предшествует подробное изучение всех условий и особенностей каждой сделки, после чего оформляются заявка, получаемая лизингодателем от будущего лизингополучателя; заключение о платежеспособности лизингополучателя и эффективности лизингового проекта; заказ-наряд, направляемый лизингодателем поставщику имущества; кредитный договор с банком о предоставлении ссуды для проведения лизинговых сделок, заключаемый лизингодателем (лизинговой компанией).

На втором этапе (5-9) лизингового процесса проводится юридическое заключение лизинговой сделки в трех- и двусторонних договорах. При этом юридически оформляются следующие документы: договор купли-продажи имущества в лизинг, акт приемки имущества в эксплуатацию; лизинговое соглашение на техническое обслуживание передаваемого в лизинг имущества.

Третий этап (10-12) охватывает период использования имущества. При этом ведется бухгалтер по всем лизинговым операциям, осуществляется выплата лизинговых платежей.

В соответствии с конкретными условиями формы управления лизинговой деятельностью могут представлять собой различные комбинации осуществляемые одновременно как во времени, так и в пространстве. В случае создания в качестве лизингодателя специальной лизинговой организации в виде Федерального государственного унитарного предприятия (ФГУП) судно будет являться его собственностью. При этом нет необходимости получать транспортную лицензию, а также выполнять соответствующие лицензионные требования. Все коммерческие и эксплуатационные риски перекладываются на судоходную компанию и туроператора.



*Рисунок 1 – Схема формирования лизингового процесса при многосторонней сделке*

1-получение заявки от лизингополучателя; 2-заключение об эффективности лизингового проекта и платежеспособности лизингополучателя; 3-направление продавцу заказ-наряда; 4-получение кредита (ссуды) для проведения лизинговой сделки; 5-заключение договора купли-продажи имущества; 6-подписание акта приемки имущества в эксплуатацию; 7-заключение лизингового договора (соглашения); 8-заключение договора субаренды судоходной компании с туроператором; 9-заключение договора о страховании рисков; 10-выплата лизинговых платежей; 11-возврат имущества или передача его в собственность лизингополучателя; 12-возврат кредита (ссуды) и выплата процентов

В том случае если будет иметь место неплатежи по лизинговому договору, судно может быть изъято у лизингополучателя (судоходной компании) и передано в лизинг другой компании, либо может быть реализовано на рынке.

По окончании срока действия договора лизинга и выплаты оговоренных платежей, судно может быть выкуплено лизингополучателем.

Предлагаемая модель лизинга может быть реализована в рамках целевой программы «Обновления речного пассажирского флота».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 О лизинге: федер. закон от 29 янв. 2002 г. №10-ФЗ // Собр. законодательства. -2002. - №5.
  - 2 О мероприятиях по развитию лизинга в РФ: постановление Правительства РФ от 21 июля 1997 г. №915 // Собр. законодательства. -1997. -№30.
  - 3 Деловая неделя: журнал. -2008, №19.
  - 4 Лещенко, М.И. Основы лизинга / М.И. Лещенко. -М.: Финансы и статистика, 2000.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** лизинг транспортных средств, строительство нового флота  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Беляев Илья Валерьевич, аспирант ФГОУ ВПО «ВГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

## **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ И ОБОСНОВАНИЮ ОПТИМАЛЬНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ ДОСТАВКИ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ ГРУЗОВ КРУПНЫМ ГРУЗОПОЛУЧАТЕЛЯМ**

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

**О.С. Нюркин**

**THE METHODOLOGICAL APPROACHES ORGANIZATION AND GROUND OF THE OPTIMUM ROUTING OF DELIVERY OF THE LARGE VOLUMES OF LOADS TO THE LARGE CONSIGNEES**  
«Volga state academy of water transport»  
O.S. Nurkin

In this article expedience of logistic approach is grounded for the increase of efficiency of a transport and port maintenance of financial streams of regional and national scales.

Обоснована целесообразность логистического подхода для повышения эффективности транспортного и портового обслуживания материальных потоков межрегионального и национального масштабов.

Транспорт, как отрасль хозяйствования, не является абсолютно самодостаточной, то есть производящей какую-либо конечную материальную продукцию. Его деятельность в большей степени относится к связующим процессам. При этом следует помнить, что в процессе доведения товара до конечного потребителя доля транспортной составляющей в конечной цене товара очень велика. Так, по данным докт. экон. наук В.Г. Галабурды, в конце 90-х годов прошлого века эта доля колебалась от 20 до 30%, а в некоторых случаях возрастала до 40-50% [1]. В последние годы уровень транспортной составляющей несколько снизился. Например, в цене угля с 31 до 22%, леса – с 22 до 18%, а руды – с 21 до 9% [2, 3]. Для небольших объемов транспортируемого товара решение проблемы снижения величины транспортной составляющей можно считать частным случаем. Если же речь идет о значительных объемах перевозки, особенно сырьевых грузов, то кроме определения прямого экономического эффекта необходимо учитывать и технико-технологическую и организационно-управленческую составляющие. А именно, пропускную способность транспортных путей, их сочетание, вариации и комбинации использования. Особенно это касается использования магистральных направлений с высокой интенсивностью движения. Если же учесть тот факт, что зачастую приходится использовать усложненные схемы доставки грузов с использованием смежных видов транспорта, то количество ограничений будет только возрастать. И решение этого вопроса уже нельзя отнести только к компетенции какого-либо региона или отдельной отрасли. Это проблема государственного масштаба, поскольку она затрагивает интересы межрегиональных и международных экономических связей и даже международной торговли и, как следствие, роли РФ в мировой транспортной системе.

Таким образом, в процессе транспортировки больших объемов грузов от отправителя(ей) до получателя(ей) одним из существенных ограничивающих условий следует считать величину провозной способности транспортных путей и пропускной способности пунктов перевалки грузов с одного вида магистрального транспорта на другой, если такая перевалка имеет место.

В летне-осенний период грузо- и пассажиронапряженность железнодорожных путей резко возрастает (отпускные перевозки пассажиров, перевозка урожая, лесных грузов и т.п.). Как следствие, снижается величина резерва пропускной способности железнодорожных путей, а на наиболее интенсивно используемых участках железной дороги (Транссиб, южное направление) пропускная способность используется на 100% и даже возникает ее дефицит.

Рост промышленного производства внутри страны, увеличение экономических отношений с другими странами, рост мировой торговли, а значит и экспорно-импортных и транзитных перевозок, еще больше увеличивают этот дефицит. Строительство новых магистральных железнодорожных путей дело очень дорогостоящее и потому железнодорожные организации в качестве инвесторов приглашают государство, создавая государственно-частное партнерство. По-нашему мнению, при анализе таких предложений государству целесообразно в области транспортной политики рассматривать и альтернативные варианты организации доставки грузов. Например, снижение напряженности перевозок по железным дорогам

в весенне-летне-осенний период возможно за счет переключения части перевозок на другие виды транспорта, например, внутренний водный. Внутренние водные пути в настоящее время имеют значительные резервы пропускной способности. Использование этого резерва позволит в значительной мере, если не полностью, разрешить многие транспортные проблемы страны.

При организации логистического управления материальными потоками решение задачи оптимизации транспортных затрат невозможно без учета всех вышеприведенных условий и ограничений.

Так, например, необходимость увеличения объемов транспортировки по железной дороге и без того больших объемов сырья (руды, леса) и энергоносителей (нефти, каменного угля) из Сибири в Европейскую часть РФ, ведет к увеличению грузонапряженности железнодорожных участков, относящихся к Транссибу, которые и так испытывают дефицит пропускной способности, который будет еще более возрастать с увеличением транзитных перевозок внешнеторговых грузов на направлении Восток-Запад. Следовательно, складывающаяся ситуация требует разработки таких траекторий движения материальных потоков, которые обходили бы участки железной дороги, относящиеся к Транссибу или учитывали бы имеющиеся резервы провозной способности отдельных участков железной дороги (в основном относящихся к Транссибу).

При этом в качестве возможных альтернативных вариантов транспортировки могут рассматриваться варианты с использованием смешанных железнодорожно-водных перевозок. Так, например, каменный уголь из Кузнецкого бассейна может быть перевезен по железной дороге до речных портов перевалки, расположенных на водных путях, входящих в Единую глубоководную систему, перегружен в крупнотоннажные речные суда и доставлен конечному потребителю. В качестве таких портов можно рассмотреть Ульяновск, Самару, Казань, Сызрань, Тольятти, Саратов и даже Астрахань, при условии, что доставка до порта будет осуществлена с использованием железных дорог Казахстана.

При выборе наиболее эффективного варианта взаимодействия видов транспорта необходимо учитывать следующие значимые факторы:

- конфигурацию имеющейся сети железных дорог и величину перевозочного железнодорожного тарифа до каждого конкретного порта;
- пропускную способность используемых железнодорожных участков в данном направлении и интенсивность ее использования (технологически и организационно это пропорционально связано с величиной транспортного тарифа);
- пропускную способность портов первой и, если необходимо, второй перевалки груза;
- величину портового тарифа за перегрузку груза и выполнение других работ;
- расстояние перевозки груза по водному участку;
- частично величину портового тарифа за выгрузку груза в порту назначения;
- экономические условия транспортировки груза по железнодорожным путям других государств (в нашем примере – Казахстан).

Кроме того, для крупных грузополучателей одним из наиболее важных требований к организации поставок сырья, кроме экономичности транспортировки, является обеспечение надежности поставок. Недостаточная надежность заставляет грузополучателей увеличивать страховые запасы, отвлекая на это значительное количество оборотных средств. На современном этапе организации и управления грузопотоками вполне отчетливо проявляется интерес грузовладельцев к организации перевозок на условиях амодальности, то есть гарантированной доставки нужного количества груза, в нужное место назначения и в нужное время, определяемое технологией дальнейшего использования этого груза. То есть приоритетным критерием для грузовладельца, а, значит, и для транспорта является надежность поставки груза.

Для обеспечения экономичности транспортировки используется оптимизация при выборе видов транспорта и маршрутов перевозки. Но, поскольку обеспечение надежности поставок во многих случаях для грузополучателя даже более важно, чем экономия транспортных издержек, то некоторое увеличение суммарной стоимости транспортировки в смешанном железнодорожно-водном сообщении, будет компенсировано увеличением надежности доставки грузов.

Теоретически даже возможно рассмотрение задачи железнодорожно-водно-железнодорожной транспортировки больших объемов груза с участием нескольких портов погрузки и нескольких портов выгрузки.

Задачи такого рода должны решаться в два этапа.

На первом этапе определяются стоимости перевозок грузов по участкам железных дорог до и после водного участка в объемах, равных пропускной способности соответствующего порта перевалки.

На втором этапе решается задача оптимального распределения рассматриваемого грузопотока между портами отправления (первой перевалки) и прибытия (второй перевалки). В рамках выполнения данных этапов необходимо осуществить выбор схемы действий.

Первая схема предполагает первоначальное выявление оптимального распределения грузопотока между портами, а затем определение того, обеспечивает ли имеющийся резерв пропускной способности используемого участка железной дороги перевозку данного объема. Если вышеуказанное условие выполняется, то железнодорожный тариф известен. Если же нет, то встает новая задача по его определению. Например, если условие не удовлетворено, то могут возникнуть задержки груза в пути и, как следствие, увеличение в портах величины коэффициента прохождения груза через склад и простоя флота.

Вторая схема предполагает определение величины резерва пропускной способности железнодорожного участка и использование его как ограничения, при оптимизации распределения грузопотока между портами. Если же железнодорожный участок проходит по территории иностранного государства в виде транзитной перевозки, то дополнительно могут возникнуть проблемы, связанные с международным правом и условиями внутренних правил перевозки.

При решении указанной задачи в качестве целевого критерия обычно выбирается обеспечение главного требования грузовладельца при перевозке больших объемов грузов – минимальная общая стоимость транспортировки груза, которая может быть выражена в следующем виде

$$Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M Q'_{epj} A_{m_{ij}}^{ж/d} + \sum_{j=1}^M Q'_{epj} A_{перj}^{рм} + \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^K Q''_{epjk} A_{перjk}^{рм} + \sum_{k=1}^K Q_{epk} A_{еарk}^{рм} + \sum_{f=1}^F \sum_{k=1}^K Q'''_{epfk} A_{m_k}^{ж/d} \Rightarrow \min ,$$

где

$$A_{m_{i(f)}}^{ж/d} = f(A_{m_i}^{ж/d}; \Pi_i^{ж/d}; Q'_{epj}; Q''_{epk});$$

$i$  – признак маршрута перевозки груза по железной дороге до порта первой перевалки груза,  $i = 1, 2, \dots, N$ ;

$j$  – признак порта первой перевалки груза,  $j = 1, 2, \dots, M$ ;

$k$  – признак порта второй перевалки груза,  $k = 1, 2, \dots, K$ ;

$f$  – признак маршрута перевозки груза по железной дороге от порта второй перевалки груза,  $f = 1, 2, \dots, F$ ;

$A_{m_i}^{ж/d}$  – величина существующего тарифа перевозки груза по железной дороге, руб./т;

$\Pi_i^{ж/d}$  – пропускная способность железнодорожных путей по  $i$ -му маршруту перевозки груза, т/сут.;

$Q'_{epj}$  – объем перевозки груза по  $i$ -му маршруту до  $j$ -го порта первой перевалки, т;

$A_{m_{ij}}^{ж/d}$  – величина железнодорожного тарифа перевозки груза по  $i$ -му маршруту до  $j$ -го порта первой перевалки, руб./т;

$A_{перj}^{рм}$  – величина доходной ставки за перевалку груза в  $j$ -ом порту первой перевалки, руб./т;

$A_{перjk}^{рм}$  – стоимость перевозки груза по ВВП от  $j$ -го порта до  $k$ -го порта, руб./т;

$Q''_{epk}$  – объем выгрузки груза в  $k$ -ом порту, т;

$A_{еарk}^{рм}$  – величина доходной ставки за перевалку груза в  $k$ -ом порту второй перевалки, руб./т;

$Q'''_{epk}$  – объем перевозки груза по  $f$ -му маршруту из  $k$ -го порта второй перевалки, т;

$A_{m_k}^{ж/d}$  – величина железнодорожного тарифа перевозки груза по  $f$ -му маршруту из  $k$ -го порта второй перевалки, руб./т.

Но этот критерий из определяющего переходит в разряд учитываемых критериев, а основным выступает уровень надежности поставки груза грузополучателю.

Прирост величины резерва пропускной способности участка железной дороги может

быть обеспечен путем перевода перевозки части других грузов на альтернативные железнодорожные пути сообщения. Поскольку это сопряжено с дополнительными организационно-техническими проблемами, то железная дорога при этом видимо поднимет величину тарифа при перевозке данного груза.

Порты первой и второй перевалки также могут увеличивать величину своей пропускной способности за счет установки на грузовых причалах дополнительной перегрузочной техники, при условии, что это позволяют характеристики используемого флота. В этом случае порты, видимо, также должны будут увеличить ставки за перегрузку груза.

Судоходные компании могут варьировать свои действия, используя те или иные суда, имеющие различные эксплуатационные и экономические характеристики, что также найдет отражение в ставках фрахта.

На современном этапе развития транспортно-экономических связей между хозяйствующими субъектами все большее внимание уделяется использованию логистических подходов к управлению материальными потоками. Такие подходы наиболее адаптированы к запросам грузовладельцев, поскольку упрощают их деятельность: задачей грузовладельца является представление груза и выбор наиболее предпочтительного маршрута из возможных. Остальные действия переходят в прерогативу либо транспортно-экспедиторской фирмы, либо иного оператора доставки.

При логистической организации процесса транспортировки груза все заинтересованные транспортные организации разных видов транспорта должны объединить свои усилия в области организации и управления транспортным процессом для обеспечения успешной совместной деятельности в целях повышения качества транспортного обслуживания грузовладельцев – как основы и единственного критерия оценки эффективности своей деятельности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Единая транспортная система: учебник / под ред. В.Г. Галабурды. -М.: Транспорт, 1999. -303 с.

2 Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 22 нояб. 2008 г. №1734-р.

3 Доклад Министра транспорта Российской Федерации И.Е. Левитина на заседании Морской коллегии при Правительстве РФ (от 6 июня 2006 г.)

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* логистика, пропускная способность, маршрутизация, материальный поток

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* Нюркин Олег Сергеевич, старший преподаватель ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

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

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ НАЗНАЧЕНИЯ РЕСУРСОВ РЕЧНОГО ПОРТА ПРИ ПОСТАВКЕ НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

**М.А. Матюгин**

**METHODICAL ASPECTS OF OPTIMIZATION OF ALLOCATION OF RIVER PORT RESOURCES ALGORITHM ON DELIVERY OF NON-MINING BUILDING MATERIALS**

«Volga state academy of water transport»

M.A. Matyugin

This issue observes the way of searching for rational variant of allocation of river port resources on delivery of non-minings buildings materials using introduced optimization model and the base of knowledge.

Описан механизм поиска рационального варианта назначения ресурсов речного порта при поставке НСМ с помощью представленной оптимизационной модели и базы знаний.

Процесс поставки НСМ является составной частью объекта управления работой речного порта в целом. В свою очередь поставка НСМ представляет собой сложную систему, интегрирующую отдельные звенья материалопроводящей цепи.

Решение задачи управления производственными ресурсами порта должно основываться на научно-методических положениях, в которых используются принципы ситуационного и системного подходов, а также периодичности решения задачи с учетом изменения условий

производства.

Результатом решения являются рекомендации по использованию ресурсов: какие работы чем производить, какие ресурсы в работе, какие на отстое и т.д. При этом необходимо учитывать ограничения по предельно допустимой интенсивности движения материального потока (пропускные способности клиентов, контрагентов и порта).

Оптимальные варианты назначения ресурсов порта и контрагентов на  $kr$ -ые поставки определяются дифференцировано на  $q$ -ых этапах в принятом плановом периоде. Поиск оптимального решения основан на принципах, изложенных в [1].

Пусть в прогнозируемом периоде  $t_i$  работы выполняются на  $f$ -х транспортно-перегрузочных комплексах (ТПК), представленных входящими в них  $j$ -ми транспортными средствами и перегрузочными машинами. Каждой работе может соответствовать несколько сочетаний  $f$ -го ТПК, что связано с разной интенсивностью выполнения работы. Интенсивность, в свою очередь, зависит от количества используемых ресурсов и организации работ. Поскольку наибольшей мобильностью обладают транспортные суда и плавучие перегрузочные машины, то варьирование интенсивностью выполнения работ на  $f$ -м ТПК осуществляется за их счет.

В периоде  $t_i$  для совокупности  $kr$ -х работ  $\{kr\}$  из  $f$ -х ТПК  $\{f\}$  нужно выбрать оптимальные сочетания  $opt\{kpf\}$ , учитывающие интересы порта в целом и ограничения, связанные с наличием ресурсов, выполнением договорных обязательств и пр. Для такого выбора используется экономико-математическая модель (1)-(7).

Для освоения  $kr$ -х работ в  $i$ -м плановом периоде собственными и арендованными техническими средствами на этапах  $q = \overline{1,3}$  в качестве критерия оптимизации принят максимум значения интегрированного коэффициента  $K_{ikpfc}^{um}$ , который учитывает степень отклонения интенсивности выполняемой работы, её доходность и значимость

$$\sum_{kr} \sum_{f_c} K_{ikpfc}^{um} \cdot X_{ikpfc} \rightarrow \max. \quad (1)$$

На решение задачи накладываются ограничения:

– неперевышение имеющихся в наличии у порта технических и транспортных средств в  $i$ -м периоде

$$\sum_{kr} \sum_q \sum_{f_c} N_{ikpqc} \cdot X_{ikpqc} \leq N_{ij}, \forall j; \quad (2)$$

– неперевышение с учетом возмущающих факторов по всей логистической цепочке предельно допустимой интенсивности выполнения  $kr$ -ой поставки в  $i$ -м периоде

$$\sum_{f_c} U_{ikpfc} \cdot X_{ikpfc} \leq U_{ikp}^{пред}, \forall kp; \quad (3)$$

– по каждой  $kr$ -ой поставке НСМ должно быть принято только одно управленческое решение

$$\sum_{f_c} X_{ikpfc} = 1, \forall kp; \quad (4)$$

– назначение  $f_c$ -го типа ТПК на  $kr$ -ую поставку возможно при достаточном объеме работ и их продолжительности:

$$\sum_{f_c} G_{ikpfc}^{\min} \cdot X_{ikpfc} \leq G_{ikp}^{ocm}, \forall kp; \quad (5)$$

$$\sum_{f_c} t_{ikpfc}^{\min} \cdot X_{ikpfc} \leq t_{ikp}^{ocm}, \forall kp; \quad (6)$$

– переменная  $X_{ikpfc}$  принимает значения

$$X_{ikpfc} = \begin{cases} 1, & \text{-если на } kr\text{-ю поставку в } i\text{-м периоде назначается } f_c\text{-ый ТПК;} \\ 0, & \text{-в противном случае.} \end{cases} \quad (7)$$

В модели и далее приняты обозначения:

$k$  – признак груза,  $k = \overline{1, K}$ ;

$p$  – признак клиента (получателя),  $p = \overline{1, P}$ ;

$j$  – признак типа транспортных судов и перегрузочных машин,  $j = \overline{1, J}$ ;

$f$  – признак типа ТПК,  $f = \overline{1, F}$ ;

$c$  – признак способа выполнения работы,  $c = \overline{1, C}$ .

Способ подразумевает концентрацию и организацию работы технических средств на перегрузке и перевозке  $k$ -х грузов. Применительно к транспортным составам предусмотрены три формы закрепления тяги за тоннажем: постоянная; на круговой рейс со сменой тоннажа в одном из пунктов обработки; на рейс со сменой тоннажа в каждом пункте обработки;

$f_c$  – признак ТПК, включающего  $j$ -е технические средства при  $c$ -м способе работы;

$q$  – признак этапа (операции) при доставке груза: погрузка, перевозка, выгрузка на складе порта (получателя),  $q = \overline{1, 3}$ ,

$t_{икр}^{осм}$ ,  $G_{икр}^{осм}$  – оставшиеся срок и объем  $кр$ -ой поставки на момент начала  $i$ -го планового периода, сут.; т;

$N_{ij}$  – наличие в  $i$ -м периоде  $j$ -х технических средств для выполнения транспортно-перегрузочных работ, ед.;

$X_{крf_c}$  – вариант назначения  $f$ -го ТПК, включающий  $j$ -е технические средства и  $c$ -й способ работы, при освоении  $k$ -го груза  $p$ -му получателю, в том числе на  $q$ -м этапе ( $X_{крf_c} = X_{крqf_c}$ ).

$N_{крqf_c}$  – необходимое количество  $j$ -ых технических средств при  $c$ -м способе работы в составе  $f$ -го ТПК на поставке  $k$ -го груза  $p$ -му получателю, в том числе на  $q$ -м этапе. ед. (для любого  $i$ );

$G_{крf_c}^{\min}$  – минимальный по технологическому процессу объем  $k$ -го вида НСМ, который может быть поставлен  $p$ -му получателю  $f$ -м типом ТПК при  $c$ -м способе организации работ, т;

$t_{крf_c}^{\min}$  – минимальная по технологическому процессу продолжительность периода, в котором может выполняться  $кр$ -я поставка НСМ  $f$ -м типом ТПК при  $c$ -м способе организации работ, сут.;

$U_{икр}^{\text{пред}}$  – предельная интенсивность, с которой НСМ  $k$ -ого вида может поступать на склад порта или  $p$ -го получателя в  $i$ -м периоде, т/сут.;

$U_{икрf_c}$  – эксплуатационная интенсивность выполнения  $кр$ -ой поставки НСМ  $f$ -м типом ТПК при  $c$ -м способе организации работ, т/сут. (для любого  $i$ ).

Оптимизация использования ресурсов порта при решении модели (1)-(7) с целью согласования работы элементов ТПК на отдельных этапах требует расчета их параметров, к основным из которых относятся: круговое время движения судна (состава) на линиях доставки НСМ с разбивкой на ходовое и стояночное время, интенсивность и себестоимость выполнения работ ТПК в целом и по отдельным операциям и др. Данные эксплуатационно-экономические показатели лежат в основе базы знаний, с помощью которой производится назначение рационального варианта распределения ресурсов из числа возможных.

С практической точки зрения нецелесообразно регулировать интенсивность работы порта на поставках НСМ частым перемещением транспортно-перегрузочных средств с одной работы на другую. Поэтому предпочтительнее назначать дополнительные ресурсы порта на уже осваиваемые или вновь появившиеся на момент принятия решений  $\tau$   $кр$ -е поставки НСМ.

В свете изложенного, предлагается следующий алгоритм работы с базой знаний при поставке НСМ.

В базе знаний находятся все возможные варианты освоения  $кр$ -х работ различными видами транспортных и технических средств, сформированными в ТПК, включая «нулевой» вариант, при котором работы не осваиваются ввиду дефицита транспортно-перегрузочных средств, т.е. на  $кр$ -ую поставку не назначаются ресурсы.

Потребность в  $j$ -х транспортно-перегрузочных средствах при выполнении каждой  $кр$ -ой работы  $f_c$ -м типом ТПК можно представить в виде матрицы

$$N_{кр} = \{ N_{крf_c} \}, \forall кр, \quad (8)$$

где  $N_{kpf_c}$  – элемент матрицы  $N_{kp}$ , отражающий количество  $j$ -х технических средств, включенных в состав  $f$ -го ТПК при  $c$ -м способе организации технологического процесса  $kp$ -ой поставки НСМ, ед.

Каждая строка соответствует количеству и типу производственных ресурсов, работающих на этапах  $q = \overline{1,3}$ ; столбец – типу ТПК.

Диспетчер работает с документацией, отражающей фактическую расстановку флота и перегрузочных средств, т.е. имеет четкое представление, за какими именно линиями (работами) закреплены ресурсы порта. Следовательно, можно создать матрицу той же размерности, отражающую реальное распределение транспортно-перегрузочных средств порта. Назовем данную матрицу текущей.

Механизм её составления следующий:

- оператор поставки НСМ на каждую  $kp$ -ую работу производит выбор из базы знаний определенного варианта распределения ресурсов, соответствующего фактическому распределению;

- поскольку каждой  $kp$ -ой поставке может соответствовать только один вариант назначения типа ТПК, элементы столбцов, принадлежащих определенной работе, имеют одинаковые значения. Эти же значения заполняются для всех остальных столбцов, соответствующих  $kp$ -ой поставке.

Текущая матрица имеет вид

$$N'_{kp} = \{N'_{kpf_c}\}, \forall kp, \quad (9)$$

где  $N'_{kpf_c}$  – элемент матрицы  $N'_{kp}$ , отражающий текущую расстановку  $j$ -х технических средств, включенных в состав  $f$ -го ТПК при  $c$ -м способе организации технологического процесса  $kp$ -ой поставки НСМ, ед.

Обе матрицы одинаковой размерности, поэтому можно произвести операцию вычитания

$$N_{kp} - N'_{kp} = \{N_{kpf_c} - N'_{kpf_c}\}, \forall kp. \quad (10)$$

Появление хотя бы одной отрицательной разности в столбце исключает выбор данного типа ТПК. Интегрированный коэффициент, соответствующий этому столбцу, принимает отрицательное значение в симплекс-таблице, что ставит данный вариант назначения ресурсов в заведомо проигрышное положение.

Тогда физический смысл поиска оптимума будет состоять в том, чтобы не перераспределять ресурсы с одной работы на другую, а увеличивать концентрацию технических средств (увеличение интенсивности материального потока) на «прежних» направлениях, если это допустимо по ограничениям и экономически целесообразно.

Окончательная форма симплекс-таблицы, по которой производится оптимизация, дополняется строками по ограничениям модели (1)-(7): по интенсивности выполняемых работ

$U_{kp} = \{U_{kpf_c}\}, \forall kp$ , минимальных по их объему  $G_{kp}^{\min} = \{G_{kpf_c}^{\min}\}, \forall kp$  и продолжительности

$t_{kp}^{\min} = \{t_{kpf_c}^{\min}\}, \forall kp$ .

Следует отметить, что симплекс-метод не дает окончательного управленческого решения. Для принятия варианта назначения ресурсов необходимо пройти еще несколько проверок, а именно:

- экономической целесообразности перевода дополнительных технических средств на объекты работ;

- оценки оператором поставки НСМ (диспетчера порта) – данная операция введена с целью учета множества факторов, действующих на процесс принятия управленческих решений, и специфичности каждой производственной ситуации, а, следовательно, невозможности их учета в модели (1)-(7).

Если какой-либо из вариантов назначения ресурсов не устраивает по тем или иным причинам оператора поставок, то он исключает данный вариант из рассматриваемых путем присвоения этому типу ТПК отрицательного значения интегрированного коэффициента.

Затем процесс оптимизации повторяется и снова производится оценка до тех пор, пока не будет найден вариант назначения, устраивающий диспетчера, либо не будут пересмотрены все варианты.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Матюгин, М.А. Методические вопросы расчета параметров транспортно-технологического процесса при управлении поставками нерудных строительных материалов речными портами / М.А. Матюгин // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2008. - №1. -С. 62-66.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** механизм оптимизации назначения ресурсов речного порта  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Матюгин Михаил Александрович, аспирант ФГОУ ВПО «ВГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

**СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**В.Д. Верескун**

**SYSTEM RESEARCHES AND MODELING OF RAILWAY COMPLEX MANUFACTURING SYSTEMS**  
«Siberian Transport University»  
V.D. Vereskun

The main approaches to researches of railway complex manufacturing systems are given in the article, the principle of virtual control and conceptually-logical model of system are suggested.

Даны основные подходы к исследованию производственных систем железнодорожного комплекса, предложены принцип виртуального управления и концептуально-логическая модель системы

Производственные системы железнодорожного транспорта относятся к категории сложных систем, исследование и совершенствование работы которых может быть эффективным лишь на основе применения системного подхода и методологии системного анализа. Их специфика проявляется в:

- невозможности и нецелесообразности использования единой модели исследования различных аспектов производственных систем (ПС);
- совместном учете всех факторов, относящихся к различным подсистемам;
- необходимости выявления целенаправленности поведения и проявления отдельных составляющих для интерпретации всей транспортной системы.

К понятию сложных систем автор правомерно полагает отнести бизнес-процессы, охватывающие совокупность различных организационно-технологических решений, направленных на получение как новой продукции и услуг, реализуемых в рамках инновационных технологий в территориально удаленных географических районах в разных часовых поясах, в разных организационно-правовых образованиях и с обязательным использованием современных средств вычислительной техники. Это дает основание автору ввести следующий принцип системного анализа (СА): принцип виртуального управления как процесс принятия решений *в условиях информационного взаимодействия субъектов управления методами СА по всем фазам бизнес-процессов, реализуемых географически разобщенными индивидуумами, группами, организационными единицами при обязательном участии информационных технологий на основе систем управления распределенными базами данных, базами знаний, экспертными системами для достижения коммерческих и социальных целей.*

Современные общесистемные подходы при исследовании ПС могут и должны быть расширены постановками нового класса задач, аппарата исследования при принятии решений и управлении ими.

Большинство авторов по системным исследованиям исходят из постулата об использовании в качестве научного инструмента СА как модели или набора моделей изучаемой системы, так и моделей, позволяющих достичь наиболее полного изучения свойств объекта исследования.

Применительно к производственным системам автором предложена классификация имитационных моделей. Общим для них или их комплекса является отражение связей в изменении поведения системы с показателями эффективности такого поведения. Модель функционирования системы в условиях взаимодействия с внешней средой может быть представлена в следующем виде

$$F = f(X, Y), \quad (1)$$

где  $F$  – множество результирующих показателей работы производственной системы железнодорожного комплекса,

$$F = \{F_1, F_2, \dots, F_p\}; \quad (2)$$

$X$  – множество решающих внутренних переменных системы;

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}; \quad x_k = \{x_{k2}, x_{k3}, \dots, x_{kd}\}, \quad k = 1, 2, \dots, K; \quad (3)$$

$Y$  – множество факторов окружающей среды, определяющих эффективность производственной системы железнодорожного комплекса.

Переменные  $X$  должен определить сам исследователь. Переменные  $Y$  представляют собой набор заранее заданных величин, в качестве конкретных значений которых могут использоваться либо средние, либо наиболее вероятные значения. Для общего случая

$$Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_d\}; \quad Y_j = \{Y_{j1}, Y_{j2}, \dots, Y_{jd}\}; \quad d = 1, 2, \dots, D. \quad (4)$$

Через фиксированные значения вектора (4) определяется конкретное состояние внешней среды.

Создание методологии научного познания виртуального управления складывается из разработки методов, моделей, технологий ПС. При разработке концептуально-логической модели за исходную позицию автором принято формализованное описание объектов управления. В качестве объектов управления с целью моделирования по уровню и типу взаимодействия участников перевозочного процесса, важности стратегических решений выделены предприятия ОАО «РЖД» и грузовладельцы; предприятия конкурентного сектора железнодорожного транспорта; предприятия железнодорожного транспорта и других видов транспорта (морской, речной, автомобильный и др.); транспортные предприятия и администрации территориальных образований.

Для всестороннего описания субъектов перевозочного процесса использован комплекс формализованных описаний (КФО) и экономико-математических моделей (ЭММ). Укрупненно КФО можно представить состоящим из следующих групп моделей: моделей структуры системы и показателей, описывающих ее поведение; моделей производственных процессов, протекающих в элементах системы; моделей информационных процессов; моделей процедур принятия решений. При этом концептуально-логическая модель производственной системы представлена как многоэшелонная структура:

$K$  – номер эшелона (уровень иерархической системы)  $K = \overline{0, N}$ ;

$I_k$  – вектор – номер элемента представленной системы.

Для  $K = 0$ ,  $I_k = I_0 = 0$ . Для  $K = 1$ ,  $I_k = I_0 = 1, 2, \dots, M_{I_0}$  – скалярный номер элемента первого уровня, пробегающий значения от 1 до  $M_{I_0}$ ;

$$\{I_1\} = \{1, 2, \dots, M_{I_0}\} = L_{I_0}.$$

Если  $I_{k-1}$  – вектор-номер элемента  $(K-1)$  – имеющий размерность  $(K-1)$ ;

$I_{k-1} = (I_{k-1}^{(1)}, I_{k-1}^{(2)}, \dots, I_{k-1}^{(k-1)})$ , то элементы  $K$  эшелона, входящие в рассматриваемый элемент  $(K-1)$  эшелона, будут иметь своими вектор-номерами следующие векторы размерности  $K$ :

$$\begin{aligned} I_{k1} &= (I_{k-1}, 1) (I_{k-1}^{(1)}, I_{k-1}^{(2)}, \dots, I_{k-1}^{(k-1)}, 1); \\ I_{k2} &= (I_{k-1}, 2) (I_{k-1}^{(1)}, I_{k-1}^{(2)}, \dots, I_{k-1}^{(k-1)}, 2); \\ I_{kM(k-1)} &= (I_{k-1}, M_{I_{k-1}}) (I_{k-1}^{(1)}, I_{k-1}^{(2)}, \dots, I_{k-1}^{(k-1)}, M_{I_{k-1}}). \end{aligned} \quad (5)$$

Структура иерархического соподчинения элементов технико-экономических связей, принадлежащих различным эшелонам, описана конечным связным графом:  $G_k(L_k(I_0), Q_k)$  – граф технико-экономических связей структурных элементов  $K$  – эшелона (иначе граф-модель объекта  $K$  – эшелона).

Пусть  $L_k(I_0)$  и  $L_{k+1}(I_0)$  – множества структурных элементов  $K$  и  $(K+1)$  эшелонов  $Q_k$  и  $Q_{k+1}$  соответственно множества связей между ними.  $G_k$  и  $G_{k+1}$  – граф-модели соответствующих эшелонов. Пусть  $\varphi_{k+1}$  – закон отображения графа  $G_{k+1}$  в  $G_k$ . Тогда

$$\varphi_{k+1} : G_{k+1} \rightarrow G_k. \quad (6)$$

Такого рода отображения можно выписать для каждой пары соседних эшелонов. Се-

мейство же  $\varphi_k$ , при  $K = \overline{0, N}$  описывает полностью систему с точки зрения закона преобразования ее связей при переходе от одного уровня к другому.

Важный класс отображений возникает при формировании «граф показателей» структурных элементов системы  $K$ -эшелона из граф-показателей структурных элементов  $(K+1)$ -эшелона.

Обозначим через  $I_{k+1}^b$  и  $I_{k+1}^e$  – соответственно множества индексов входных и выходных показателей  $I_{k+1}$  – структурного элемента  $b$  – уровня агрегирования  $(K+1)$  – эшелона (т.е.  $I_{k+1} \in L_k$ ).

Тогда преобразование входных и выходных «граф-показателей»  $(K+1)$  – эшелона в соответствующие «граф-показатели»  $I_k$  – элемента  $K$  – эшелона можно описать отображениями

$$\begin{aligned} E_{I_k}^{b(k+1)k} : \{x_{i_k}^b\} i \in I_{k+1}^b \in L_k &\Rightarrow \{x_{i_k}^b\} i \in I_{k+1}^b; \\ F_{I_k}^{e(k+1)k} : \{y_{i_k}^e\} i \in J_{k+1}^e, I_k &\in L_k \Rightarrow \{y_{i_k}^e\} i \in I_{k+1}^e. \end{aligned} \quad (7)$$

Подобным же образом описывается преобразование информации вышележащего уровня в информацию нижележащего эшелона

$$\begin{aligned} E_{I_k}^{bk(k+1)} : \{x_{i_k}^b\} i \in I_k^b &\Rightarrow \{x_{i_{k+1}}^b\} i \in I_{k+1}^b, I_{k+1} \in L_k; \\ F_{I_k}^{ek(k+1)} : \{y_{i_k}^e\} i \in J_k^e &\Rightarrow \{y_{i_{k+1}}^e\} i \in I_{k+1}^e, I_{k+1} \in L_k. \end{aligned} \quad (8)$$

Смысл отображения  $E_{I_k}^{b(k+1)k}$  ( $E_{I_k}^{bk(k+1)}$ ) заключается в описании алгоритмов, по которым осуществляется пересчет «граф-показателя» нижележащего (вышележащего) эшелона в «граф-показатель» верхнего (нижнего) эшелона. Аналогичное замечание справедливо и для отображений  $F_{I_k}^{e(k+1)k}$  и  $F_{I_k}^{ek(k+1)}$ .

Производственный процесс, протекающий в произвольном  $I_k$  элементе  $K$  – эшелона можно описать с учетом уровня детализации показателей входа и выхода

$$\Pi_{I_k}^{b_e} : X_{I_k}^b \rightarrow Y_{I_k}^e, I_k \in L_k(I_0), K = \overline{0, N},$$

где

$$X_{I_k}^b = \{x_{i_k}^b\}, i \in I_k^b, Y_{I_k}^e = \{y_{i_k}^e\}, i \in I_k^e. \quad (9)$$

Функционирование транспортной сети происходит во времени. Поэтому в отображении (9), описывающем производственный процесс, соответствующие входные и выходные векторы  $x_j^b$  и  $y_j^e$  ( $x_j^b \in X_j^b$ ,  $y_j^e \in Y_j^e$ ),  $j \in L_k(I_0)$ ,  $K = \overline{0, N}$ , по-существу, должны быть привязаны к фиксированным моментам времени и отражать его состояние за определенные периоды.

Нами предложен подход и дан анализ отображения входных сообщений одних временных периодов во входные сообщения других периодов.

Для характеристики вариантов функционирования системы виртуального управления принято матричное представление функций и объектов управления, описываемых множеством взаимосвязанных комплексов задач, согласованных между собой по входу и выходу, и образующих в процессе переработки информации замкнутые контуры, включаемые в виртуальную систему управления разными способами.

Для выбора основного варианта управляющей системы установлены объемные и качественные характеристики системы, качественные характеристики информации, их состав и критерии эффективности.

Показано, что объемные характеристики зависят от сложности системы виртуального управления, времени решения комплекса задач, трудоемкости проектирования, эксплуатации и внедрения системы. За основные характеристики качества функционирования системы управления приняты надежность, помехоустойчивость, модернизируемость, внедряемость. Вероятность безотказной работы системы по некоторому варианту предлагается описывать логистической кривой. Выполненный анализ качественных характеристик позволил провести ранжирование вариантов функционирования системы. В качестве характеристики выходной информации рекомендуется использовать ее достоверность, являющуюся сложной функцией надежности и помехоустойчивости системы, и полноту, как величину, способную уменьшать энтропию (неупорядоченность) системы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** производственные системы, системный анализ  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Верескун Владимир Дмитриевич, канд. техн. наук, ректор ГОУ ВПО «СГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ БОЛЬШИХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ РЕЧНЫХ ПОРТОВ)**

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

**И.П. Юрлов**

**THE DEVELOPMENT OF THE MODEL OF COMMUNICATORY-FUNCTIONAL INTERACTION BETWEEN THE ELEMENTS OF  
LARGE SYSTEMS (ON RIVER PORTS EXAMPLE)**

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

**I.P. Yurlov**

In the issue the items of interaction between the elements of large systems are observed and the underpinning of communicatory-functional structure of ports with the explanation of the way of the arrival at a management decision is given.

Рассмотрены вопросы взаимодействия между элементами больших систем и даётся обоснование информационно-функциональной структуры портов с пояснением механизма процесса принятия управляющих решений.

От того, как организована система управления любым промышленным, транспортным предприятием или, особенно, их интегрированной структурой, на каком уровне, каким образом принимаются управленческие решения, как осуществляется обмен информацией между элементами системы, в значительной, а иногда и решающей степени зависит эффективность управления и, в конечном счете, эффективность деятельности как отдельного предприятия, так и системы в целом по достижению поставленной цели.

Под структурой любой системы, и, в первую очередь, интегрированной, понимается ее организация из отдельных элементов, в данном случае портов, с их взаимосвязями, которые устанавливаются распределением функций и целей, выполняемых системой. Такие интегрированные системы известны в практике работы транспортных компаний, в том числе речных портов.

В рамках решения проблемы координации взаимодействия отдельных портов – элементов интегрированной системы управления (ИСУ) требуется обоснование информационно-функциональной структуры с последующим исследованием процессов принятия управляющих решений.

Интегрированная система управления работой входящих в нее элементов (портов) имеет сложную структуру и для описания процесса ее функционирования возможно использование положений математической теории координации и общей теории иерархических многоуровневых систем.

В соответствии со структурной принадлежностью и вертикальной соподчиненностью элементов ИСУ может быть представлена в виде многоуровневой системы с выделением на каждом уровне отдельных подуровней, наборы которых включают группы *A*, *B*, *C*. Эти группы представляют системы управления, соответственно: работой перегрузочных средств на погрузке (добыче) грузов, работой судовых грузовых составов, работой перегрузочных средств на выгрузке грузов по реализации заявок (заказов) на перемещение грузов как в отдельном элементе (порту), так и в интегрированной системе управления в целом.

При таком подходе в структуре ИСУ целесообразно выделение координационного и локального органов управления.

Информационно-функциональную модель ИСУ по принятию и реализации управляющих решений в каждом структурном подразделении взаимодействующих портов и в целом по системе можно представить в виде информационно-функционального графа структуры. Для наглядности общий вид графа для одного порта показан на рисунке.

В соответствии с правовым статусом элементов, входящих в вертикальную интегрированную систему управления, роль базового предприятия выполняет один из речных портов, являющийся управляющей компанией. В связи с этим функции координатора взаимодействия между элементами ИСУ должны выполняться председателем совета директоров или исполнительным директором управляющей компании (уровень  $A^0$ ). В процессе непосред-

венного управления перемещением грузов в конкретном порту административно-функциональное руководство должно выполняться должностными лицами разного уровня: локальным исполнительным директором – начальником порта (уровень  $A^1$ ); директором по производству (уровень  $A^2$ ); главным диспетчером (уровень  $A^3$ ); начальником грузового района (уровень  $A^4$ ); дежурным диспетчером (уровень  $A^5$ ); сменным помощником начальника грузового района (уровень  $A^6$ ); капитаном судна (уровень  $B^6$ ); механиком плавучей перегрузочной машины (уровень  $C^6$ ).

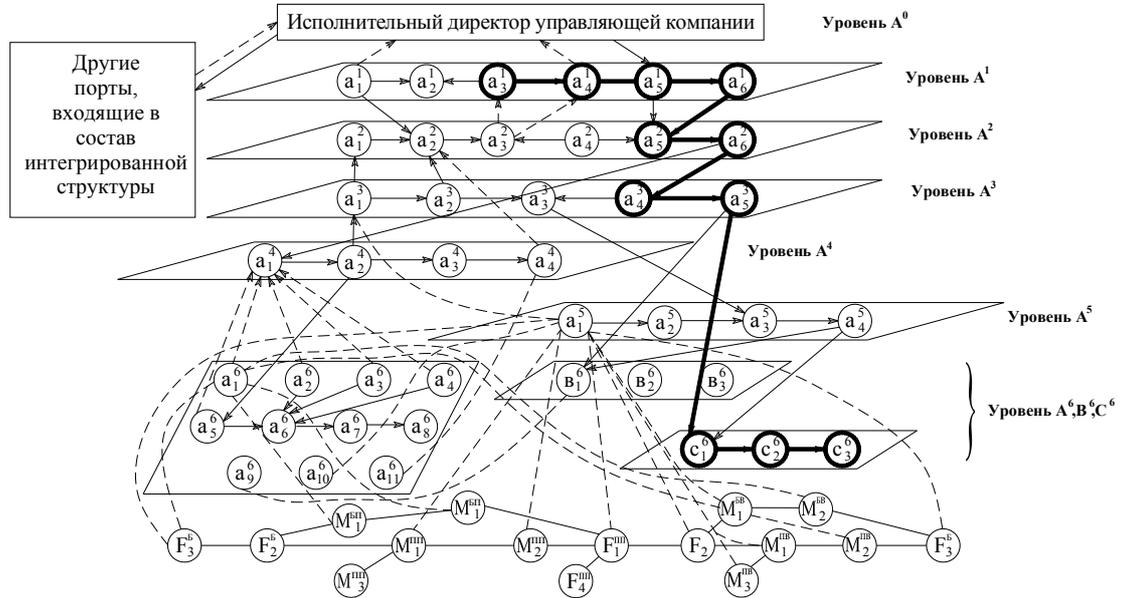


Рисунок – Информационно-функциональный граф ИСУ

Процесс функционирования каждого из выделенных подуровней  $A, B, C$  может быть выражен совокупностью операций, выполняемых должностными лицами. Исследования состава этих операций, их информационных взаимосвязей позволяет определить задачи, решаемые на каждом из уровней, а, следовательно, и выполняемые функции. Представленная на рисунке информационно-функциональным графом структура ИСУ отражает операции, выполняемые различными должностными лицами при подготовке, выработке и реализации управленческих решений. Дуги графа – информационные потоки, сопровождающие процессы выработки и реализации управляющих решений. Сплошными линиями обозначены потоки распорядительной информации между иерархическими уровнями и связи между отдельными операциями на каждом из уровней управления. Пунктирными линиями показаны направления движения потоков информации.

Потоки информации возникают из состава множества операций

$$a, b, c = \{a_j^e, b_j^e, c_j^e\},$$

где  $j$  – индекс операции на каждом уровне, выполняемых административно-управленческим аппаратом ИСУ;

$e$  – индекс уровня иерархии.

Процесс физического взаимодействия технологических элементов перемещения грузов в порту на рисунке представлен в виде переходных состояний, где приняты обозначения:

$M_p^{БП(БВ)}, M_p^{ПП(ПВ)}$  – множество  $p$ -х состояний соответственно береговых и плавучих перегрузочных установок (на обработке (погрузка, выгрузка) грузовых судовых составов, в ожидании перегрузочных операций, в резерве и т.д.

$F_k^Б, F_k^{ПВ}$  – множество  $k$ -х состояний грузовых судовых составов соответственно при грузовой обработке у берегового причала и у плавучей перегрузочной установки.

Процесс выработки и реализации координирующих сигналов и управляющих воздействий по управлению транспортно-перегрузочной работой представляет собой определенные совокупности операций, последовательности выполнения которых можно представить в виде четырех контуров (подграфов информационно-функционального графа  $\psi$ ) принятия и реализации управляющих решений. Например, процесс, требующий управляющего воздей-

ствия исполнительного директора управляющей компании при перераспределении ресурсов между портами, входящими в состав ИСУ отражает контур управления расстановкой и использованием плавучих перегрузочных установок – подграф  $\psi^3$

$$\psi^3 = \{a_3^1, a_4^1, (a_6^1), a_5^2, a_6^2, (a_5^3, c_1^6), c_2^6\},$$

- где  $a_3^1$  – сбор информации и оценка хода выполнения реализации заявок (заказов) на перемещение грузов; принятие решений по обеспечению выполнения транспортно-перегрузочного процесса;
- $a_4^1$  – сбор и передача на вышестоящий уровень информации о необходимости взаимодействия со смежными элементами ИСУ при недостатке собственных и арендованных ресурсов и возникших внешних возмущающих факторах;
- $a_6^1$  – корректировка плана расстановки портовых транспортно-перегрузочных средств; согласование при необходимости изменений с заявителями (заказчиками) транспортных услуг;
- $a_5^2$  – прием управляющих решений от вышестоящего подуровня управления по корректировке плана расстановки и использования транспортно-перегрузочных ресурсов;
- $a_6^2$  – анализ, оценка и передача управляющих решений по выполнению плана перемещения грузов и корректировка по расстановке и использованию транспортно-перегрузочных ресурсов на нижестоящий подуровень – главному диспетчеру и начальнику района;
- $a_5^3$  – передача распоряжений капитанам судов и механикам плавсредств о приостановке работ при возникновении внешних возмущающих воздействий до появления представителя заказчика или получения управляющих решений с вышестоящего подуровня управления;
- $c_1^6$  – прием, выполнение и передача подчиненным работникам указаний дежурного диспетчера порта по изменению плана перегрузочного процесса, передислокации машин или корректировке плановых заданий;
- $c_2^6$  – контроль технического состояния плавучей перегрузочной установки и передача дежурному диспетчеру информации по выполнению плановых заданий и техническому состоянию установки.

Заключение отдельных операций или их пар в круглые скобки означает возможность включения этих операций в процесс принятия и реализации управляющих решений в зависимости от сложившейся ситуации на соответствующем иерархическом уровне управления. Например, операция  $a_5^3$  может быть включена в процесс выбора главным диспетчером управляющего решения, если оно принимается в условиях неопределенности и требуется экспертная оценка его вышестоящим уровнем управления – директором по производству.

Таким образом, считаем, что стратегические решения по управлению функционированием элементов в составе ИСУ должны приниматься на верхнем уровне управления (советом директоров, исполнительным директором управляющей компании). Тактические же решения в зависимости от складывающейся в процессе перемещения грузов в портах ситуации и возможных последствий воздействия внешних возмущающих факторов могут приниматься соответственно директором по производству, как координатором работы всех управляющих органов, главным и дежурным диспетчерами порта по управлению подсистемами «плавучая перегрузочная техника» и «грузовые судовые составы», начальниками и сменными помощниками по управлению подсистемой «береговая перегрузочная техника». Одновременно сменный помощник начальника грузового района может выполнять также функции локального органа по управлению подсистемой «производственные и трудовые ресурсы грузового района», а дежурный диспетчер порта – функции вышестоящего органа управления – эксперта по оценке принимаемых сменным помощником решений.

Эффективность функционирования ИСУ, кроме информационно-функциональной модели, требует разработки принципов и методов оптимизации управленческих решений использования ресурсов в целом по системе.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* информационно-функциональное взаимодействие между элементами больших систем  
*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* Юрлов Иван Петрович, аспирант ФГОУ ВПО «ВГАВТ»  
*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:* 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

## ОБОСНОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОВЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ РЕГИОНА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.М. Бунеев, А.А. Мартынов

JUSTIFICATION TO CARGO TRAFFIC MANAGEMENT ORGANIZATION OF THE REGION  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
V.M. Buneev, A.A. Martynov

The paper justifies the scientific methodical foundations of cargo traffic management organization at the regional level.

Изложены научно-методические основы обоснования организации управления грузовыми перевозками, на региональном уровне

Научно-методической основой экономического обоснования организации управления грузовыми перевозками региона являются соответствующие теоретические предпосылки и методологические принципы. Основные из них: научная обоснованность принимаемых решений, комплексность экономического обоснования и системность исследования.

С позиции теории управления транспортный процесс перевозки грузов является объектом управления. Ставится задача – определить организационную форму его управлением на региональном уровне. Научная обоснованность предполагает, что выбор организационной формы производится на основе научных методов экономического обоснования с учетом рационального использования трудовых и материальных ресурсов. Организационные формы должны соответствовать конкретным условиям осуществления транспортного процесса и выражать интересы его участников.

Комплексность означает, что при исследовании поставленной проблемы учитываются все внешние и внутренние факторы, влияющие на конечные результаты, а основная задача декомпозируется на отдельные подзадачи и устанавливается порядок обмена решениями между ними.

Системность предусматривает исследование рассматриваемого объекта управления как определенной системы, состоящей из отдельных элементов (подсистем). В тоже время она является составляющей системы, более высокого порядка. При этом необходимо установить соответствующие внутренние и внешние связи между ними.

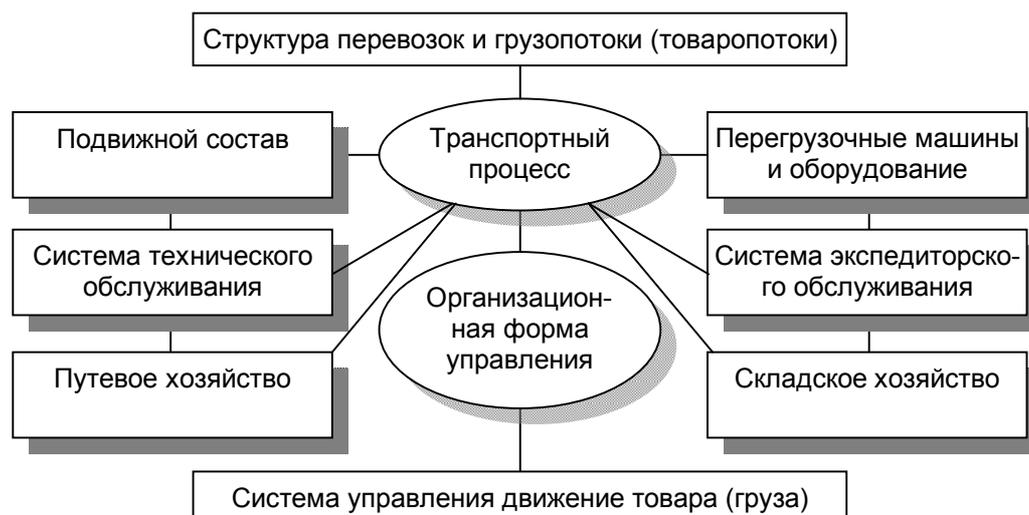


Рисунок 1 – Схема взаимодействия элементов системы транспортного обслуживания региона

Исходя из этих принципов транспортный процесс рассматривается как система, состоящая из отдельных элементов – операций, выполняемых последовательно при доставке грузов (товаров) от производителей к потребителям. С другой стороны транспортный процесс является элементов системы транспортного обслуживания региона. В нее входят: структура перевозок и грузопотоки (товаропотоки); подвижной состав; путевое хозяйство; перегрузочные машины и оборудование; система технического обслуживания; складское хо-

зяйство; система экспедиторского обслуживания; организационная форма управления перевозками и система управления движением товара (груза) (рисунок 1).

Исследование проблемы научного обоснования организации управления грузовыми перевозками осуществляется в определенной логической последовательности (рисунок 2).



*Рисунок 2 – Логическая последовательность исследования проблемы обоснования организации управления грузовыми перевозками*

Решение комплекса задач начинается с исследования спроса на региональном рынке транспортных услуг по перевозке грузов, его сезонных колебаний и динамике по городам. Устанавливаются тенденции и закономерности его развития с учетом потребностей хозяйственного комплекса и социальной сферы. На основе полученных данных прогнозируется структура перевозок и грузовые потоки, их размер и направления.

Затем анализируется сложившаяся система транспортного обслуживания региона. Определяется роль каждого вида транспорта и влияние его на размещение производительных сил, развитие рынков и эффективность общественного производства. Дается характеристика транспортной инфраструктуры и исследуются предложения на рынке транспортных услуг на основе достигнутых провозных способностей подвижного состава, пропускных способностей пути, перегрузочных комплексов и складского хозяйства. Полученные таким образом данные сопоставляются с результатами решения предыдущей задачи и устанавливается возможность удовлетворения спроса на грузовые перевозки. Здесь же выявляются имеющиеся резервы для дальнейшего перспективного развития.

На следующем этапе исследования уточняются основные принципы и методы управления движением товаров и грузов. Методологической основой для этого является логистика, как наука о планировании, организации, управлении, контроле и регулировании движения материальных и информационных потоков в пространстве и во времени от их первичного источника до конечного потребителя. Принципы и методы управления направлены на интеграцию снабжения – производственно-распределительных систем, в которых увязываются функции снабжения материалами и сырьем, производства продукции, ее хранения и распределения. Для исследования поставленной проблемы приоритет отдается закупочной и сбытовой функциональным областям логистики, а также транспортной, поскольку значительная часть операций на пути движения материальных потоков осуществляется различными транспортными средствами [1]. Затраты на выполнение таких операций в составе общих затрат составляют до 50% и более.

На основе результатов, полученных на третьем этапе разработок формируется система покупателей оценки эффективности организации управления грузовыми перевозками. Она должна отражать общую цель, стоящую перед участниками транспортного процесса обеспечив максимум выгоды. Критерием эффективности при этом является соотношение выгод и затрат.

Следует отметить, что интересы участников транспортного процесса, как правило, не совпадают. Так, для транспортных фирм и компаний определенную выгоду представляет собой увеличение тарифов на транспортные услуги, а их потребителей – снижение. В связи с этим при формировании системы показателей оценки эффективности необходим экономический компромисс в процессе принятия управленческих решений.

В практике оценки эффективности организации управления наиболее сложной проблемой является определение количественной оценки полученных результатов реализации принятых решений. Они могут быть получены за счет повышения качества транспортной продукции, снижения себестоимости перевозок и увеличения объема, предоставляемых услуг.

Выбор организационных форм управления грузовыми перевозками производится на основе экономической оценки альтернативных вариантов. В качестве таковых могут быть рассмотрены промышленно-транспортные комплексы (Томский опыт) [2], транспортные узлы с непрерывным план-графиком работы (Ленинградский опыт), единый технологический процесс речного порта и железнодорожной станции, транспортно-технологические и логистические системы доставки грузов, грузораспределительные и логистические центры, а также другие формы управления.

После обоснования организационных форм производится разработка их структуры, которая представляет собой разработку их структуры, которая представляет собой совокупность взаимосвязанных и соподчиненных организационных единиц (элементов, звеньев), выполняющих определенную функцию в системе производства. Они существенно зависят от особенностей каждого их видов транспорта, объема продукции, структуры перевозок, характера производственных функций конкретного предприятия, принятого порядка работы и ряда других факторов. Кроме того, необходимо учитывать требования, которым должны отвечать организационные структуры управления [3].

Исследования завершаются подготовкой проекта рациональной организации управления грузовыми перевозками региона. В нем приведены нормативно-правовые документы и правила, регламентирующие деятельность органа управления и взаимоотношений участников транспортного процесса. Кроме того, приводятся графики отправления и прибытия в соответствующие пункты подвижного состава, последовательность выполнения транспортных операций логической цепочки от производителя к потребителю и их продолжительность, а также другие необходимые сведения и организационно-технические и экономические мероприятия, обеспечивающих реализацию подготовительного проекта. Для оценки их эффективности рассчитываются экономические показатели.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гордон, М.П. Логистика товародвижения / М.П. Гордон, С.Б. Карнаухов. -М.: Центр экономики и маркетинга, 1998. -168 с.

2 Драчев, П.Т. Оценка эффективности развития ноосферных промышленно-транспортных комплексов / П.Т. Драчев, В.А. Кноль. -Новосибирск: Наука, 1998.

3 Менеджмент на транспорте: учеб. пособие для вузов / Н.Н. Громов, В.А. Персианов, Н.С. Усков. -М.: Академия, 2003. -528 с.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* организация управления, грузовые перевозки региона

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:* Бунеев Виктор Михайлович, докт. экон. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Мартынов Алексей Александрович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:* 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

#### **УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМ ПОТОКОМ С УЧЕТОМ ЕГО СВОЙСТВ**

ГОУ ВПО «Сибирская автомобильно-дорожная академия»

**В.В. Петров**

**TRAFFIC FLOW CONTROL THROUGH ITS PROPERTIES**  
«Siberian state automobile and highway academy»  
V.V. Petrov

The article is considered basic properties of traffic flow which is the development of traffic flows control theory. There is presented the efficiency of using the properties for the improving traffic flow control.

Рассмотрены основные свойства транспортного потока, что является развитием теории управ-

ления транспортными потоками. Показана эффективность применения свойств для повышения эффективности управления транспортным потоком.

При координированном управлении дорожным движением объектом управления является транспортный поток (ТП), описываемый совокупностью признаков, характеризующих процесс движения: параметрами, состояниями и свойствами.

Транспортному потоку с конкретным сочетанием параметров присущи вполне определенные свойства, которые должны быть учтены при выборе управления в системе. Учитывая возможность существования множества различных сочетаний интенсивности, скорости и плотности ТП, необходимо учитывать различный характер поведения ТП, а именно способность его к преобразованию. Для этого рассмотрим некоторые наиболее важные особенности транспортного потока.

Анализ результатов натурных обследований движения транспортных потоков в городах показал наличие ряда следующих ярко выраженных свойств: динамичность, стационарность, инерционность, стохастичность, взаимосвязанность, распад групп автомобилей и формирование групп автомобилей. Рассмотрим более подробно каждое из перечисленных свойств.

*Динамичность.* Свойство ТП, которое заключается в том, что интенсивность движения изменяется в течение суток, недели и года. Изменения интенсивности движения носят закономерный характер, диапазон изменения настолько значителен, что режимы управления необходимо изменять несколько раз в сутки. Свойство динамичности проявляется во всем диапазоне изменения интенсивности движения.

*Стационарность.* Ежедневные периодические измерения одних и тех же параметров транспортного потока в фиксированные интервалы времени суток показывают закономерный характер процесса движения автомобилей. Причем эти закономерности движения носят устойчивый характер из-за наличия детерминированных тенденций в движении транспортных средств. Это обусловлено тем, что подавляющее большинство поездок носит периодический характер и часто осуществляется по постоянным маршрутам (деловые поездки, работа общественного транспорта, грузовые перевозки). Стационарность, так же как динамичность, проявляется во всем диапазоне изменения интенсивности движения.

*Инерционность.* Следующим важнейшим свойством транспортных потоков, во многом определяющим принципы управления, является их инерционность. Под инерционностью понимается свойство объекта управления непрерывно переходить из состояния в состояние во времени и пространстве. Действительно, параметры движения транспортных средств, измеренные в некоторый момент времени, не могут существенно измениться за малый промежуток времени из-за того, что каждое ТС имеет конечную, вполне определенную скорость и может быть обнаружено в этом промежутке в пределах ограниченного участка транспортной сети. Это свойство проявляется прежде всего в том, что средние значения параметров потоков (интенсивность, скорость, плотность, интервалы) изменяются во времени и пространстве непрерывно. Инерционность имеет место при любых значениях интенсивности движения. Наличие «пачек» в потоках также является результатом малой изменчивости структуры потока при прохождении смежных перекрестков, т.е. следствием инерционности в изменении интервалов между последовательными автомобилями. Инерционность объекта управления говорит о возможности прогнозирования изменений его характеристик в небольших интервалах.

*Стохастичность.* Стохастичность как свойство транспортного потока выражается в статистическом характере процесса движения транспортных средств. Этот факт подтверждается данными ежедневных периодических измерений одних и тех же параметров потока в фиксированные интервалы времени суток. Вероятностное поведение объекта управления обусловлено тем, что транспортный поток формируется из индивидуальных участников движения, использующих различные типы транспортных средств и имеющих различные цели поездки (во времени и пространстве). Как и предыдущие свойства ТП, стохастичность наблюдается при любых интенсивностях движения.

В литературе по теории транспортных потоков [1] рекомендуется применять периоды измерения интенсивности движения 15 мин., 30 мин., 1 ч и сутки.

Данные по суточной интенсивности движения за несколько суток, как правило, отличаются очень незначительно, на доли процента. При периоде измерения 15 минут эти отличия зависят от величины интенсивности. При интенсивности до 200 авт./ч отличия за разные пе-

риоды могут составлять до 50%, хотя при интенсивности до 800 авт./ч эти отличия составляют до 5%. Поэтому для получения реальной картины изменения интенсивности движения и назначения в дальнейшем соответствующих режимов управления необходимо проводить усреднение и аппроксимацию полученных статистических данных. Таким образом, свойство стохастичности транспортных потоков важно учитывать при выборе периода действия каждого режима управления.

**Взаимозависимость.** Все перечисленные свойства проявляются как результат взаимозависимого движения транспортных средств. Эта взаимозависимость (связанность) выражается главным образом в том, что подчас малые изменения условий движения на отдельных магистралях и перекрестках (сужение проезжей части, изменение погодных условий, нарушение режима светофорной сигнализации) приводят к резкому изменению характера движения не только на данном участке, но и на отдаленных магистралях и перекрестках города. Особенно сильно связанность регулируемых транспортных узлов сказывается в режимах насыщения ДТС, когда транспортный затор возникший на отдельном перекрестке, распространяется на значительный участок сети. Связанность в сети носит сложный, подчас непредсказуемый характер. Чем сильнее свойство связанности, тем большие участки сети необходимо рассматривать, решая задачу управления, и тем сложнее эта задача, поскольку под объектом управления приходится понимать не отдельные перекрестки, а все связанные между собой транспортные узлы. Свойство взаимозависимости наиболее характерно для высоких значений интенсивности движения.

На практике это свойство необходимо учитывать при разработке схем организации движения в условиях возникновения заторовых ситуаций. Важной особенностью здесь является применение переменных схем организации движения с соответствующим оборудованием.

**Распад групп автомобилей.** При групповом режиме движения наблюдается новое свойство ТП. Групповое движение транспортных средств складывается при средних и больших интенсивностях движения, когда пропускная способность дороги и перекрестка уже оказывает существенное влияние на условия движения.

Распад групп при движении по перегону можно описать выражением, предложенным в работе [2]

$$\lambda(t) = \lambda_0 \exp(-kt_{np}), \quad (1)$$

где  $\lambda_0$  – мгновенная интенсивность в момент образования групп;  
 $k$  – параметр управления ( $k = 0,008$ );  
 $t_{np}$  – время проезда перегона.

Выражение (1) показывает изменение мгновенной интенсивности в группе автомобилей по мере движения от начальной точки перегона и, как следствие, изменение временной длительности группы.

Свойство распада групп имеет важное значение при координированном управлении движением ТП. Степень распада групп при их движении необходимо соотносить с выбором моментов включения разрешающего сигнала светофора на смежных перекрестках.

**Формирование групп автомобилей.** Процесс формирования группы автомобилей при ее движении на запрещающий сигнал (адаптивность) светофора в значительной мере определяется поведением лидеров. Торможение лидеров имеет характер, близкий к равномерно замедленному. Поэтому функция изменения интенсивности во времени в процессе формирования потока в большинстве случаев имеет линейный вид. В соответствии с изложенным, а также используя модель распада групп, по формуле (1), полное преобразование групп автомобилей можно записать с помощью следующего выражения:

$$\lambda(t) = \begin{cases} \lambda_0 \exp(-kt) & \text{при } 0 \leq t < t_{np} - t_T \\ \frac{\lambda_0}{t_T} \{1 - \exp[-k(t_{np} - t_T)]\} (t - t_{np}) + \lambda_0 & \text{при } t_{np} - t_T \leq t \leq t_{np} \end{cases}, \quad (2)$$

где  $\lambda_0$  – мгновенная интенсивность в момент образования группы;  
 $k$  – параметр правления ( $k = 0,008$ );  
 $t_{np}$  – время проезда перегона;  
 $t_T$  – время торможения.

Зависимость (2) показывает, что характер преобразования групп зависит от длины перегона (времени проезда) и момента смены запрещающего сигнала на разрешающий, то

есть сдвига фаз, в этом заключается адаптивность групп автомобилей. Таким образом, оптимизация выбора величины сдвига фаз при заданной длине перегона является главной задачей при управлении движением, заключающемся в активном влиянии на процесс преобразования групп.

Все перечисленные свойства ТП учитывались при настройке режимов координированного управления ТП в нескольких городах РФ. Свойства распада и формирования групп автомобилей использованы в программе имитационного моделирования «Трасса» [3].

Результаты частичного применения указанных свойств в моделях для расчета режимов показали повышение относительной эффективности управления ТП до 8%.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими. -М.: Транспорт, 1972. -424 с.

2 Капитанов, В.Т. Управление транспортными потоками в городах / В.Т. Капитанов, Е.Б. Хилажев. -М.: Транспорт, 1985.

3 Петров, В.В. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах / В.В. Петров. -Омск: Изд-во СибАДИ, 2007. -104 с.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* транспортный поток, свойства транспортного потока, координированное управление, интенсивность движения, транспортное средство

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* Петров Валерий Васильевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «СибАДИ»

*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:* 644050, г. Омск, Проспект мира, 5, ГОУ ВПО «СибАДИ»

## **ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ И ИНТЕРМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК**

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

**В.Ю. Астахова**

**FOREIGN EXPERIENCE OF MULTIMODAL AND INTERMODAL TRANSPORTATION'S ORGANIZATION**  
«Novosibirsk state academy of the water transport»  
V.Yu. Astahova

The main stages and experience of foreign multimodal transportation's organization are considered.

Рассмотрены основные этапы и опыт организации мультимодальных перевозок за рубежом.

Мультимодальными (от англ. multi и mode – вид) в зарубежной терминологии называются перевозки грузов с использованием различных видов транспорта – в отличие от унимодальных (uni – один). Организационно-правовые, коммерческие, экономические и другие условия международной мультимодальной перевозки регулируются международными институтами, принявшими ряд конвенций, правил, стандартов [2]. Схема доставки грузов несколькими видами транспорта приведена на рисунке.

Смешанные перевозки с участием водного транспорта получили первоначальное развитие в большинстве капиталистических стран. Этому способствовала более низкая стоимость перевозок водным транспортом по сравнению с железнодорожным и особенно автомобильным [1].

*Интермодальные перевозки в США.* В США уже в 20-х гг. XX в. осуществлялись железнодорожно-автомобильно-речные перевозки по одной накладной на весь маршрут, а для уменьшения убытков от простоев было принято рациональным разделить грузовой автомобиль на два модуля – тягач (truck) и автоприцеп. Позже появились две разновидности автоприцепов:

– прицепной фургон с передними и задними колесами (van);

– полуприцеп без передних колес (но с опорным катком на стоянке) – трейлер (trailer) – с присоединением его к седельному тягачу.

Для укрупнения и комплектования мелких отправок стали применять новые виды транспортных емкостей (тары): ящики, съемные кузова, контейнеры. Далее возникла концепция грузового модуля: система интермодальной перевозки имеет дело не с грузом вообще, а с укрупненной грузовой единицей (УГЕ) – контейнером, трейлером, съемным кузовом и т.д.

В 1960-х гг. в США перевозки по Великим озерам достигали 180-200 млн.т в год, причем большая часть их совершалась в смешанном железнодорожно-водном сообщении. Перевоз-

ка железной руды из районов ее добычи до портов оз. Верхнего (Дулут и др.) производилась по железной дороге (100-120 км), затем по Великим озерам – до портов Чикаго, Кливленд, Конниот и др. (1000-1200 км) и затем вновь по железной дороге, до металлургических заводов (таблица).

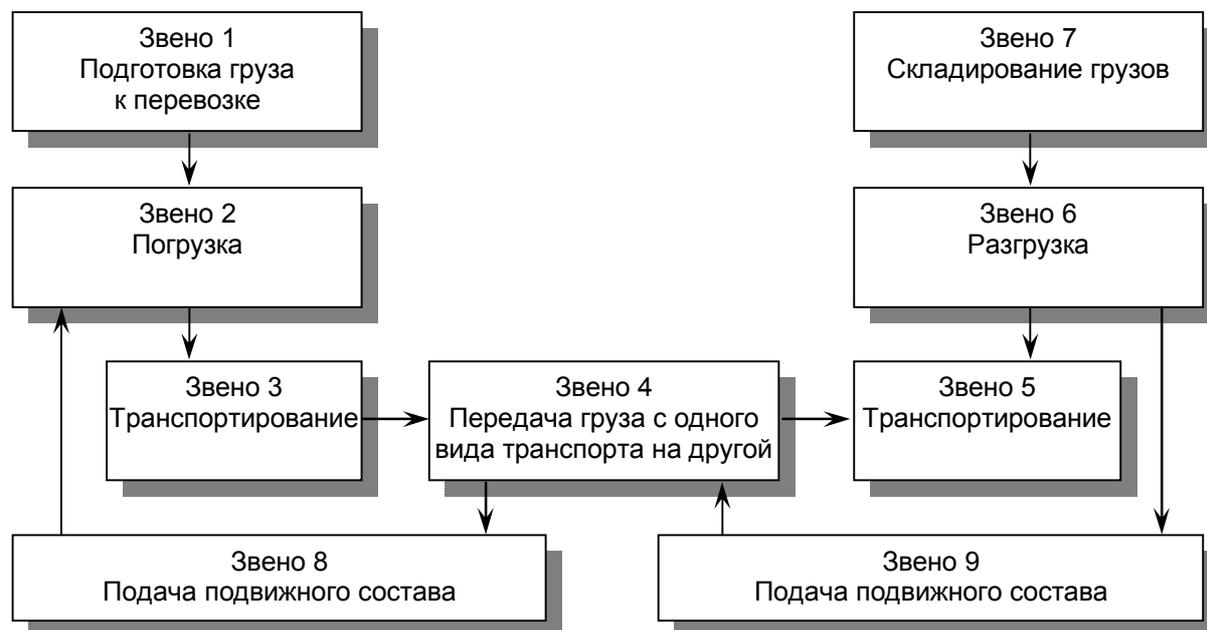


Рисунок – Схема доставки грузов несколькими видами транспорта

Таблица – Смешанное железнодорожно-водное сообщение в США

Род груза	Доля в общем объеме, %		Доля в общем валовом доходе, %	
	всех речных перевозок	перевозок в смешанном сообщении	всех речных перевозок	перевозок в смешанном сообщении
Уголь	7,0	45,3	8,1	27,2
Продукция сельского хозяйства	13,5	26,6	12,2	24,2
Химические грузы	3,9	5,3	2,6	4,5
Прочие	2,5	22,8	3,8	44,1
В среднем по всем грузам	5,3	100,0	5,3	100,0

Из таблицы видно, что в смешанном железнодорожно-водном сообщении в США транспортировалось 5,3% всех грузов, перевозимых речным транспортом. Из них около 80% (по объему) составляли уголь, сельскохозяйственная продукция и химические грузы.

Революционный прорыв в развитии контейнерных перевозок в 1960-х гг. был достигнут в морских грузовых перевозках американской компанией Sea-Land.

Применение контейнеров в морских перевозках позволило решить многие технические задачи, связанные с технологией перевалки грузов и предназначенным для этого оборудованием [3].

В настоящее время ежегодный объем контейнерных перевозок грузов в США достиг 600 млн. т. Среднегодовой прирост контейнерных перевозок 4,5 % – корреспондируется с ежегодным увеличением объемов промышленной продукции на 5%. Улучшилось качество перевозок и сроки доставки грузов.

*Интермодальные перевозки в Западной Европе.* История развития смешанных сообщений в Европе уходит в средние века: люди здесь давно научились давать качественную оценку перевозке товара с тем, чтобы компенсировать критерии негативного порядка одного вида транспорта позитивными качествами другого. Для этого еще в XVIII в. главные реки региона были соединены каналами, которые, пройдя целую серию реконструкций, успешно функционируют и в настоящее время.

В Западной Европе достигнуто максимально возможное использование экономических и экологических преимуществ речного транспорта. Здесь функционируют крупные порты: в Германии – Дуйсбург (24,8 км причальных линий и 247 км железнодорожных путей), Дортмунд, Гамбург (30 км речных причалов и 450 км железнодорожных путей и др.); во Франции

– Руан, Париж (причальный фронт 100 км, длина железнодорожных путей 27 км), Лилль Марсель, Страсбург, Гавр, Бордо и др. Для развития смешанных перевозок с участием водного транспорта решающее значение имеет льготное снижение стоимости перегрузочных работ с одного вида транспорта на другой. В связи с этим во многих зарубежных странах велась и ведется большая работа по усовершенствованию перевалки грузов, применению комплексной механизации перегрузочных работ, а также разработке и внедрению новых бесперегрузочных способов перевозок в смешанных сообщениях с участием водного транспорта [1].

В Европе попытки расширить внутреннее смешанное сообщение появились вскоре после контейнеризации перевозок на континенте. В Великобритании в середине 1960-х гг. была создана компания смешанных перевозок Freightliner, первоначально предназначенная для транспортировки преимущественно национальных грузов на короткие и средние расстояния. В своей работе она опиралась на обширную сеть терминалов, разбросанных по всей стране [4]. Повышение качества обслуживания за счет расширения числа контейнеров, транспортируемых по схеме «от двери до двери», привело к привлечению большого числа новых клиентов.

Наибольшую эффективность с точки зрения интермодальных перевозок в Европе показал Intercontainer, созданный европейскими железными дорогами (25 европейских национальных дорог) в 1968 г. для координации международных контейнерных перевозок [4].

Осуществление интермодального сообщения зависит от различий в окружающей обстановке, климатических условиях и др. Контейнеризация характеризуется главным образом технологическими изменениями, распространением стандартизации перегрузочного оборудования, размеров контейнеров и т.д.

Особое значение в интермодальном сообщении придается организационным и логистическим аспектам. Подобная концепция находится в определенной связи с географией и пространственной организацией региона или континента.

В Северной Америке, например, обширные пространства, большие расстояния, разбросанность населения и промышленных центров получили прямое отражение в организации и инфраструктуре транспортной отрасли. Использование поездов с погрузкой контейнеров в два яруса, крупнотоннажных контейнеров и т.д. более привлекательно, так как это способствует достижению высоких экономических показателей в дальнем сообщении. Поэтому в интермодальных перевозках США господствуют крупнотоннажные контейнеры.

ЕС имеет население существенно большее, чем США, на территории, составляющей примерно 20% размера США. Поэтому расстояния между крупными европейскими городами, а также ведущими промышленными центрами и морскими портами значительно короче, чем в США. В результате интермодализм и его практика принимают в Европе иные формы, чем в Северной Америке. Европейские сети автомобильных и железных дорог отличаются большей интенсивностью перевозок, отражающих структуру размещения населения. Особого внимания у отправителей и получателей заслуживают гибкость и частота обслуживания, чем экономика дальних перевозок. Поэтому преобладание контейнеров меньшего размера в интермодальных перевозках Европы имеет свои преимущества. География Европы также диктует иную конкурентную среду, чем в США. В Европе железные дороги должны прилагать повышенные усилия для получения конкурентного преимущества перед автомобильным транспортом на относительно коротких расстояниях, которые характеризуют средний рейс на континенте.

На практику интермодализма оказывают воздействие также различия в геополитической структуре между Европой и Северной Америкой, проявляющиеся в определенной политической сегментации европейской мозаики и запутанности законов и правил, что противоречит одной из основных целей интермодализма – обеспечению непрерывного потока товаров на всем пути их следования. Таможенный досмотр поездов, замедляющий перемещение грузов, контрастирует с маршрутными поездами в США, обеспечивающими быструю и бесперебойную доставку, в частности, путем сохранения скорости и исключения простоев на сортировочных станциях [4].

В 2001 году в ЕС была принята так называемая «Белая книга» (White paper). Документ является концепцией развития транспорта на 10 лет, то есть до 2011 года. Авторы при ее создании пытались найти новые решения, которые позволили бы сократить сроки доставки товара и расходы. Меры, предложенные в «Белой книге», в основном направлены на достижение одной цели: на развитие мультимодальных перевозок, которые по своему определе-

нию включают несколько видов транспорта. В противовес бурному росту автомобильных потоков было решено «реанимировать» железнодорожное сообщение, активно задействовать внутренний водный транспорт, а также перевозку на коротких плечах по морю и авиацию.

В 2006 году под руководством министра транспорта Германии началось формирование программы развития индустрии логистики и перевозок – «Мастер-плана по грузовому транспорту и логистике» (в 2007 году на его разработку было выделено 1,1 млн. €). Суть состоит в разработке конкретных мер по повышению мобильности товаропотоков; кроме того, «Мастер-план» должен служить своего рода ориентиром для конкретных проектов. Речь идет не о том, какая часть логистических операций останется в Германии, а какая отойдет странам Евросоюза. В программе действий «Мастер-плана» ставка будет сделана на усиление внутреннего водного транспорта. Реализация плана позволит Бремену повысить свою конкурентоспособность в соперничестве за грузопотоки с другими немецкими портами, расположенными на побережье Северного моря.

В Финляндии важнейшими задачами международной инфраструктуры и логистической политики являются обеспечение надежных и недорогих международных маршрутов на связях между основными рынками импорта и экспорта Финляндии; поддержание ее логистической позиции как страны, являющейся ближайшим соседом России; обеспечение привлекательности финского логистического комплекса на фоне непрерывного укрепления позиций Эстонии, Латвии, Литвы и Польши. Приведенный выше из стратегического документа под названием «Укрепление логистической позиции Финляндии» тезис ясно показывает, что транспортный комплекс страны и связанные с ним распределение и обслуживание товаропотоков управляются при непосредственном участии государства.

Рассмотрение практики западноевропейских стран отчетливо показывает, что в сфере управления логистикой за рубежом преобладают две основные модели. «Авторитарная», при которой государство напрямую вмешивается даже, казалось бы, в узкоспециальные вопросы (Финляндия). И «демократическая» – когда чиновники лишь указывают ориентиры развития (Германия). Причина, обуславливающая разницу, лежит в том, насколько логистика важна для данной страны. Если для небольшой Финляндии (которая исторически зарабатывает на обслуживании транзитных грузопотоков) логистика является одной из ключевых сфер пополнения бюджета и занятости населения, то и степень вмешательства чиновников здесь велика. Для более диверсифицированной экономики Германии логистика служит и самостоятельной отраслью, и средством, обеспечивающим эффективное функционирование других сфер. Доля логистики в успехе народного хозяйства меньше, чем в Финляндии, и государство (Германия), соответственно, не так глубоко регулирует рынок [5].

Изучение зарубежного опыта взаимодействия разных видов транспорта при перевозках грузов показывает, что способы технической координации перевозочного процесса в смешанных автомобильно-железнодорожно-водных и водно-автомобильных сообщениях получают за последние годы широкое развитие в большинстве зарубежных стран. Эти способы, при всем многообразии, направлены в основном на решение следующих задач:

- 1) доставка грузов «от двери до двери» с предоставлением максимальных удобств клиентуре;
- 2) полная механизация перегрузочных работ с одного вида транспорта на другой и по возможности внедрение бесперегрузочной перевалки;
- 3) ускорение доставки грузов и обеспечение их сохранности с наименьшими транспортными издержками.

В Российской Федерации имеются некоторые особенности в организации мультимодальных перевозок – обширные территории; дальность перевозок; слаборазвитые контейнерные перевозки; слабое государственное регулирование. В настоящее время мультимодальный рынок грузовых перевозок в России во многом отстает от западных стран. Там наиболее востребован мультимодальный сервис, целью которого является доставка от «двери до двери». В этом случае компания полностью берёт на себя все заботы о грузе – включая оформление документов, страхование, перегрузку в пути следования, перевозку по нескольким инфраструктурам и несколькими видами транспорта. Российский рынок перевозок пока только идёт к такому уровню сервиса, хотя интерес клиентов к комплексной услуге достаточно высок. Кроме этого на Западе выстраивается чёткая цепочка ответственности каждого участника мультимодальной перевозки, в России этого пока нет. В результате повышаются риски потерь при перемещении грузов по территории страны и создаются определенные сложности в организации мультимодальных перевозок, снижаются их преимуще-

ства и требуются дополнительные новые подходы в их реализации в условиях становления транспортных рыночных услуг, в частности: государственное регулирование смешанных перевозок, внедрение льгот и «зеленой улицы» при смешанных перевозках «от двери до двери» для ускорения доставки таких грузов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Виноградов, Н.А. Взаимодействие различных видов транспорта при перевозках грузов в зарубежных странах / Н.А. Виноградов. -М.: ВИНТИ, 1960. -91 с.

2 Никифоров, В.С. Мультимодальные перевозки и транспортная логистика: учеб. пособие / В.С. Никифоров. -М.: ТрансЛит, 2007. -272 с.

3 Управление, логистика и информатика на транспорте: экспресс-информ. / ВИНТИ; под ред. С.М. Резер. -М., 2007. -№2. -35 с.

4 Управление, логистика и информатика на транспорте: экспресс-информ. / ВИНТИ; под ред. С.М. Резер. -М., 2007. -№3. -34 с.

5 Управление, логистика и информатика на транспорте: экспресс-информ. / ВИНТИ; под ред. С.М. Резер. -М., 2007. -№7. -30 с.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* смешанные перевозки, мультимодальные перевозки, контейнер, логистика

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* Астахова Валентина Юрьевна, аспирант ФГОУ ВПО «НГавт»

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

### **ПОДБОР КАДРОВ КАК МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**Ю.И. Грачева**

**SELECTION OF PERSONNEL AS A METHOD OF STAFF MANAGEMENT**  
«Siberian state university of means of communication»  
Yu.I Gracheva

An algorithm of acting of manager when selecting outward candidates on vacant position is worked out and charted.

Разработан алгоритм действий руководителя при отборе внешних кандидатов на вакантную должность и сведен в блок-схему.

Проблема привлечения (подбора) кадров является одной из самых актуальных в системе управления персоналом. Подбор персонала осуществляется как процесс, в котором определяются характеристики кандидатов, отвечающих требованиям, предъявляемым со стороны предприятия. Чаще всего практикуется внутренний подбор персонала, или «политика продвижения изнутри», на высшие руководящие должности. Внутренний подбор персонала имеет несколько преимуществ: он требует меньших затрат и стимулирует у работников лояльность организации, содействует их профессиональному росту и удовлетворенности от труда.

Однако во многих ситуациях более предпочтительным является внешний подбор персонала, привлечение новых кадров «со стороны». Поиск кандидатов осуществляется с использованием разнообразных внешних источников, включая объявления в газетах, услуги государственных служб занятости и частных агентств по найму, биржи труда и рекомендации сотрудников, работающих на предприятии.

Пополнение кадров за счет внешних источников имеет ряд преимуществ перед заполнением вакантных рабочих мест собственными работниками:

- более широкий выбор среди претендентов;
- сразу заполняется вакантная должность;
- привлечение работников со стороны, особенно на должность руководителей, может быть источником новых идей, полезных для развития производства;
- человеку со стороны легче добиться признания.

Однако путь укомплектования кадров за счет внешних источников связан с:

- более высокими затратами на привлечение рабочей силы;
- длительным пребыванием рабочего места в качестве вакантного;
- блокировкой квалификационного и служебного роста и возможной текучестью кадров по этой причине;

- появлением отрицательных моментов в психологическом климате;
- повышенным временем производственной адаптации и т.д.

Таким образом, становится очевидным, что подбор персонала является не простой задачей, которую необходимо решать, используя как внутренние, так и внешние источники рабочей силы. Остановимся более подробно на заполнении свободной вакансии за счет внешних источников.

*Постановка задачи.* Пусть на вакантную должность начальника отдела помимо внутренних работников, претендуют внешние работники со стороны. Особенностью поставленной задачи является то, что в процессе рассмотрения кандидатур внешних работников на вакантную должность необходимо будет снижать уровень требований, предъявляемых к ним в силу следующих причин: перед началом отбора руководство устанавливает первоначальные требования к внешним работникам, которые обычно, в начале отбора, завышены или приближены к максимальному значению. Возможно, что ни один из рассмотренных кандидатов, в начале отбора, не будет соответствовать установленным требованиям. Тогда руководство вынуждено будет снизить уровень текущих требований. Если и на этот уровень не будет подобран достойный кандидат, то руководство вновь будет вынуждено снизить уровень требований. В это время на протяжении всего периода отбора внешних работников, вакантная должность остается не заполненной, в результате чего в отделе накапливается объем невыполненной работы. Это приводит к снижению эффективности работы отдела в целом. Возникает вопрос: в течение какого времени руководство дороги может рассматривать внешних работников на вакантную должность, чтобы не снизить производительность труда отдела в целом, то есть в какой момент времени необходимо прекратить отбор внешних кандидатов на вакантную должность и принять решение о заполнении свободной вакансии. Исследуя процесс рассмотрения и отбора внешних работников на вакантную должность, ставим цель: сформулировать оптимальную стратегию поведения руководства для принятия решения о заполнении вакантной должности.

К рассмотрению внешних кандидатур на свободную вакансию рекомендуется перейти после того, как внутри предприятия определен и оценен самый достойный внутренний работник, удовлетворяющий требованиям должности. Оценку работников можно осуществлять при помощи расчета показателя их ценности.

Показатель ценности внешних работников будем обозначать  $R_i$ , где  $i$  – номер кандидата. А показатель ценности внутренних работников  $U_{ij}$ , где  $i$  – номер специалиста, а  $j$  – номер должности, которую занимает  $i$ -ый специалист.

Оценка работников со стороны проводится, прежде всего, на основе собеседования. Собеседование должно быть построено таким образом, чтобы можно было собрать широкий спектр персональной информации о работнике, такой как: пол, возраст, образование, место работы (в разрезе форм собственности, отрасли), должность, профессия, по которой в данный момент работает, или работал до увольнения, уровень заработной платы (фактически получаемой и желаемой) и т.д.

Согласно правилам формирования оценки работников (внутренних и внешних) максимально возможное значение показателя ценности для сотрудников не превысит значения, равного один балл.

В случае если ценность внутреннего работника имеет низкое значение, то руководству, очевидно, имеет смысл рассмотреть внешних кандидатов по заполнению свободной вакансии. Таким образом, становится понятно, что при приеме работников со стороны, руководству имеет смысл рассматривать кандидатов, показатели ценности которых формируются в диапазоне от  $[U_{ij}; 1]$ . Обозначим через  $T_i$  уровень текущих требований, предъявляемых к претендентам.

После того, как руководитель определил период времени для рассмотрения внешних работников на вакантную должность и построил систему требований для принятия решения о заполнении свободной вакансии, алгоритм его действий будет сведен к сравнению показателей ценности внешних работников с текущими требованиями.

Сформулируем алгоритм действий руководителя при отборе внешних кандидатов на вакантную должность:

В процессе собеседования с внешним работником руководитель должен определить его показатель ценности ( $R_i$ ).

Сравнить показатель ценности внешнего работника с текущими требованиями ( $T_i$ ).

Если показатель ценности внешнего работника находится в диапазоне от  $[C_{ij}; 1]$  и больше, чем уровень текущих требований, предъявляемых к нему ( $R_i > T_i$ ), то он, очевидно, заполняет вакансию и на этом отбор претендентов прекращается.

Если показатель ценности внешнего работника находится в диапазоне от  $[C_{ij}; 1]$ , но меньше, чем уровень текущих требований, предъявляемых к нему ( $R_i < T_i$ ), то кандидатура рассматриваемого работника отклоняется и заносится в резерв, учитывающий кандидатов, прошедших отбор ( $R_i \in [C_{ij}; 1]$ ), но неудовлетворяющих текущим требованиям.

Если показатель ценности внешнего работника находится в диапазоне от  $[0; C_{ij}]$ , то его кандидатура сразу отклоняется без занесения в резерв кандидатов.

Если на текущем шаге вакансия не заполнена, то есть  $R_i < T_i$ , то необходимо вернуться к рассмотрению кандидатов, находящихся в этот момент в резерве.

Выбрать из резерва кандидатов, показатели ценности которых удовлетворяют текущим требованиям, то есть находятся в диапазоне  $[T_i; 1]$ . Если список таких кандидатов определен, то его необходимо проранжировать по степени убывания их показателей ценности.

Следуя проранжированному списку кандидатов резерва, с ними необходимо установить связь. Связь можно устанавливать при помощи рассылки электронных или почтовых писем, или путем телефонных переговоров.

Если, хотя бы один из списка кандидатов резерва на данный момент времени не занят на другом рабочем месте и согласен занять свободную вакансию, то вакантная должность будет заполнена.

Если вакантная должность заполнена не будет, то есть никто из сформированного списка в диапазоне от  $[T_i; 1]$  не согласен, то следует перейти к рассмотрению следующего кандидата.

Если список кандидатов в диапазоне от  $[T_i; 1]$  не сформирован (то есть все кандидаты находятся в интервале от  $[C_{ij}; T_i]$ ), то следует продолжить отбор кандидатов на вакантную должность.

Если в течение установленного периода времени для рассмотрения внешних работников на вакантную должность, решение о заполнении свободной вакансии внешними работниками не принято, то очевидно, что ее необходимо заполнить внутренним работником с показателем ценности, равным  $C_{ij}$ . В этот момент времени требования, предъявляемые к внешним работникам, совпадут со значением показателя ценности внутреннего работника, претендующего на вакантную должность ( $T_i = C_{ij}$ ).

Более наглядно описанный алгоритм действий руководителя при отборе внешних кандидатов на вакантную должность представлен на рисунке 1 и 2.

Методика действия руководителя при отборе внешних кандидатов на вакантную должность, разработанная в виде алгоритма, имеет ряд преимуществ, так как позволяет:

- Формировать резерв кандидатов, претендующих на вакантную должность, а также ре-

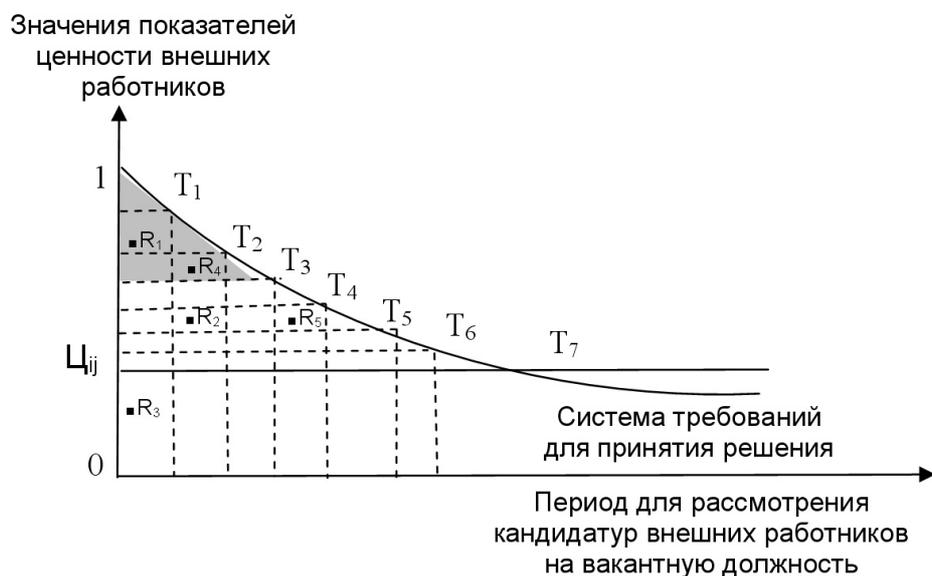


Рисунок 1 – Порядок отбора внешних кандидатов на вакантную должность

гулярно поддерживать с ними связь, что обеспечивает заполнение свободной вакансии более достойным кандидатом с показателем ценности выше уровня текущих требований;

- Выбрать из сформированного резерва кандидатов на вакантную должность претендента с наибольшим показателем ценности, что улучшит работу отдела в целом;
- Способна наиболее полно отражать все нюансы при процедуре отбора внешних работников;
- Соблюдая последовательность алгоритма действий при подборе кадров работодатель может сократить (сэкономить) время по приему работников, что будет способствовать росту производительности труда.

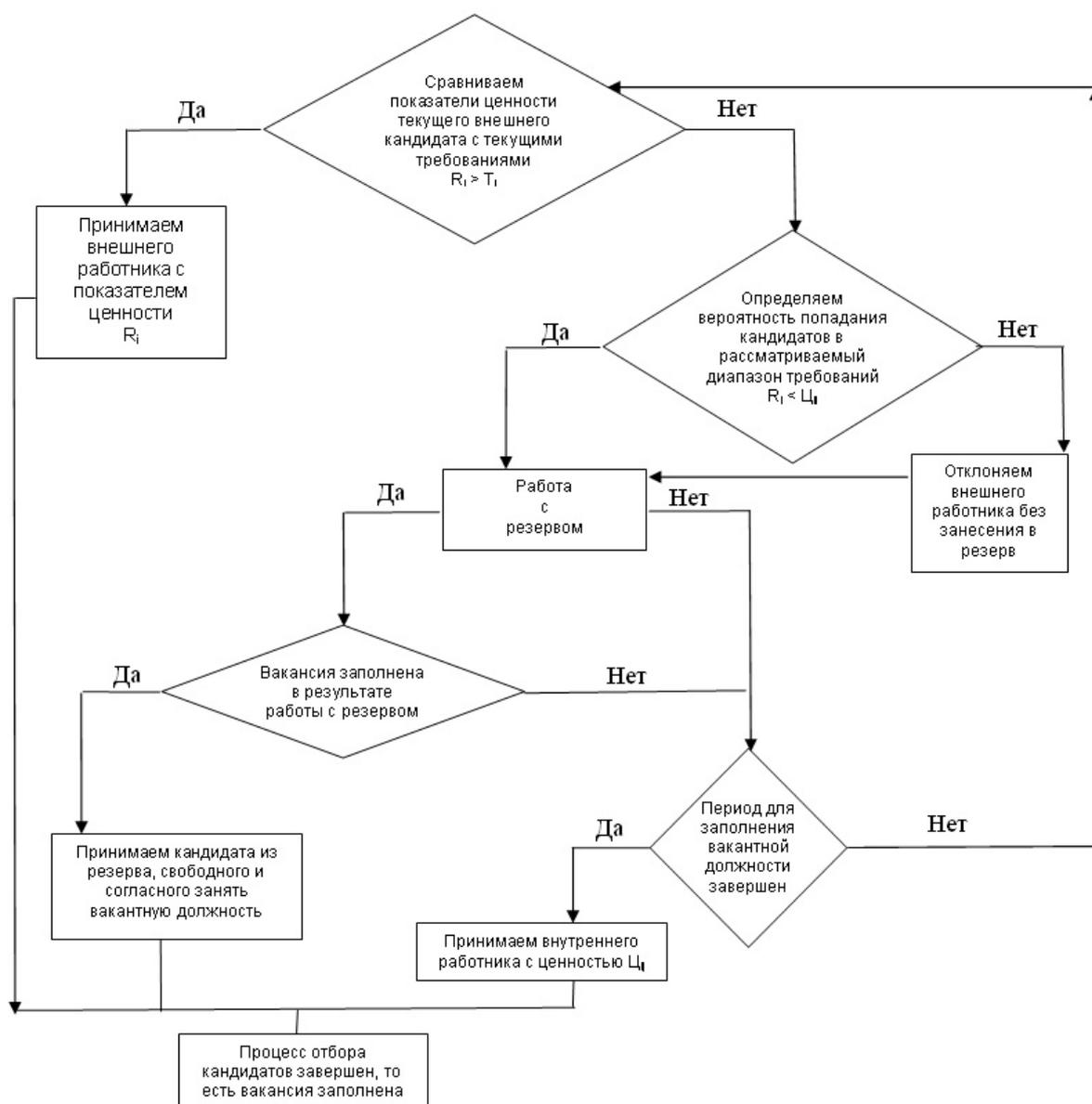


Рисунок 2 – Алгоритм действий при отборе внешних кандидатов на вакантную должность

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Дафт, Р. Менеджмент: пер. с англ. / Р. Дафт. -6-е изд. -СПб.: Питер, 2007. -864 с.: ил. - (Серия «Классика МВА»).

2 Режим доступа: <http://www.zarplatomer.ru>

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: отбор кадров, показатель ценности, алгоритм действий руководителя по подбору кадров

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Грачева Юлия Игоревна, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»

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

## ЛОГИКО-ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ ГРУЗОВЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ К ПЕРЕМЕННОМУ ХАРАКТЕРУ СПРОСА НА ПЕРЕВОЗКИ

ГОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»

Л.Г. Резник, О.Ю. Смирнова

LOGIKO-LINGUISTIC ADAPTABILITY MODEL OF FREIGHT MOTOR TRANSPORT SYSTEM TO VARIABLE CHARACTER OF DEMAND FOR FREIGHTAGE

«Tyumen state oil and gas university»

L.G. Reznik, O.Yu. Smirnova

In article the definitions of notion freight motor transport system to variable character of demand for freightage are given. The logiko-linguistic model of forming of adaptability of freight motor transport system to variable character of demand for freightage is developed. For the first time attempt of the account of influence of the human factor on adaptability level of system «person-car» is done.

Приведено определение понятия приспособленности грузовой автотранспортной системы к переменному характеру спроса на перевозки. Разработана логико-лингвистическая модель формирования приспособленности грузовой автотранспортной системы к переменному характеру спроса на перевозки. Впервые предпринята попытка учета влияния человеческого фактора на уровень приспособленности системы «человек-машина».

В настоящее время все участники транспортного рынка, именующие себя перевозчиками, вынуждены сами искать новые пути развития в условиях динамичной внешней среды, гибко реагировать на ее изменения. Анализ зарубежного и отечественного опыта показал, что переход на рыночные отношения требует разработки нового подхода в организации перевозочного процесса. В его основе отказ от принципа, согласно которому успех транспортной компании определяется только рациональной организацией производства, снижением издержек и эффективным использованием всех видов ресурсов. В современной рыночной ситуации, которая характеризуется перенасыщенностью рынка и колебаниями спроса, на первый план выступает требование о формировании производственных программ в зависимости от объемов и структуры рыночного спроса. В таких условиях от перевозчика потребовалось проявление такого свойства как «приспособленность», которое в плановой экономике было слабо востребовано, так как автотранспортные предприятия заранее знали свои объемы и корреспонденцию перевозок, а спрос стабильно превышал предложение по грузовым перевозкам.

Наукой признано, что одним из главных инструментов изучения сложных систем является метод моделирования, получивший серьезное развитие во второй половине двадцатого века, благодаря применению ЭВМ. Построение модели – процесс неформальный, модель должна исследуемое явление и должна быть удобной для исследования. Рациональный путь формирования модели заключается в применении многоуровневой иерархии описаний, при которой описание более высокого уровня будет зависеть от факторов и переменных низшего уровня. Следовательно, представляется возможность проводить исследования на разных уровнях, абстрагирования (слои исследования) [2]. Необходимо помнить, что одна модель представляет собой одну точку зрения. Для моделирования системы с нескольких точек используется несколько моделей. В настоящей статье представлены результаты исследования модели приспособленности грузовой автотранспортной системы.

В работе [5] обосновано положение о том, что автотранспортная система – это класс диффузных систем, объективной особенностью которых является взаимозависимость свойств и флуктуация с внешней средой и связанные с ними «принципиальная неустойчивость» и «принципиальная стохастичность» и неопределенность информации, преобладающими свойствами которой являются приспособленность и надежность. Свойство «*приспособленность*» для открытых систем, функционирующих в переменных условиях внешней среды, было предложено в рамках пространственно-временной концепции функционирования сложных систем. Дефиниция термина *приспособленность* сформулирована как свойство системы сохранять на номинальном уровне показатели эффективности при переменном характере отклонений условий внешней среды от стандартных.

Стандартными условиями для грузовой автотранспортной системы является полное использование потенциальных провозных возможностей с определенным соотношением постоянных и переменных затрат в текущий интервал времени при определенных рыночных

ценах. В качестве номинального показателя относительной прибыли выступает относительная прибыль, полученная за определенный интервал времени с конкретными рыночными ценами на перевозки и на затраты при условии отсутствия неравномерности спроса, то есть в случае полного использования провозных возможностей системы.

В ходе аналитических исследований была установлена количественная зависимость приспособленности грузовой автотранспортной системы к переменному характеру спроса в виде коэффициента

$$D = \frac{ППВ}{P_{бу}}, \quad (1)$$

где  $ППВ$  – потенциальные провозные возможности;

$P_{бу}$  – грузооборот безубыточности (объем транспортных услуг, выполнив который АТП не получит прибыли, но и не будет в убытке).

Анализ работы перевозчиков на рынке транспортных услуг показывает, что они функционируют в условиях действия большого количества случайного фактора. Внешние факторы, неуправляемые со стороны автотранспортной системы (колебания спроса на транспортные услуги, метеорологические и другие), создают неустранимую неопределённость информационной ситуации, в отношении которой принимаются управленческие решения. Дополнительную неопределённость порождают ограниченные познавательные возможности принимающих решения лиц. Для широкого класса задач априорная неопределённость может быть сведена к параметрической, когда вероятностные законы распределения для исследуемых ситуаций, величин и наблюдаемых процессов известны с точностью до конечного числа параметров. Однако имеется сравнительно большой класс проблем, при решении которых эти методы неэффективны. Последнее можно объяснить тем, что набор стандартных вероятностных понятий и методов оказывается неадекватным для описания рассматриваемых ситуаций, а также с трудностью получения необходимых статистических характеристик параметров, отсутствием эргодичности процессов и их существенной нестационарностью.

Поскольку состояния грузовой автотранспортной системы и внешние воздействия не обладают статистической природой в классическом понимании математической статистики, то моделирование на основе классических теорий вероятностей и случайных процессов невозможно. Положение усугубляется и тем, что отсутствует достоверная информация о каких-либо показателях деятельности грузовых автоперевозчиков в силу «коммерческих тайн» и информационной закрытостью этого рынка. Нельзя также использовать методы теории автоматического управления и регулирования. Возможно применение аксиологических вероятностей, экспертных оценок, формализмов теории нечётких множеств и произвольных комбинаций перечисленных описаний.

Присутствие человека в системе всегда приводит к необходимости учета, какие люди и в каких условиях они работают. Автотранспортная система представляет собой систему с активным участием человека, как оператора, управляющего движущимися сложными техническими объектами, так и лица принимающего решения в управлении операторами. При учете человеческого фактора необходимо рассматривать качественную информацию, тогда выдвигаемая гипотеза об оценке приспособленности грузовых автотранспортных систем может быть представлена в виде кортежа лингвистических переменных

$$\text{Приспособленность} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Грузооборот безубыточности} \\ \text{Трудовой потенциал водительского состава} \\ \text{Технический потенциал подвижного состава} \end{array} \right\}. \quad (2)$$

Представленная модель отражает связь между приспособленностью и потенциалом системы в виде технического и трудового и величиной критического объема производства.

Учитывая, что исходная статистическая информация зачастую бывает не достоверной, а часть информации от экспертов имеет качественный характер было предложено применять методы теории нечетких множеств. Применение теории нечетких множеств позволяет интерпретировать качественную информацию количественными соотношениями, применяя при этом строгий математический аппарат. Преимуществом теории нечетких множеств является использование естественного для эксперта языка путем введения лингвистических переменных Л. Заде (1976), которые позволяют адекватно отобразить приблизительное словесное описание предметов и явлений.

Наши исследования доказали, что в наибольшей степени требованиям системной оцен-

ки приспособленности отвечают возможности метода Спесивцева-Дроздова. Метод зарекомендовал себя положительно в различных областях техники при создании прогностических и управляющих моделей трудноформализуемых процессов и явлений [3].



Рисунок – Представление входных( $X$ ) и выходных ( $Y$ ) переменных в виде лингвистической переменной

Согласно применяемого метода, лингвистические переменные представлены в кодированном виде от 0 до 1. Факторное пространство для моделирования приспособленности грузовой автотранспортной системы к переменному характеру спроса представлено на рисунке. Продукционные правила опроса экспертов оформлены в виде следующих строк матрицы опроса: «ЕСЛИ технический потенциал СРЕДНИЙ, трудовой потенциал ВЫСОКИЙ, а грузооборот безубыточности на среднем уровне, ТО приспособленность ПЕРЕВОЗЧИКА находится (ответ эксперта)». А ответ эксперта формулируется например «между СРЕДНЕЙ и ВЫШЕ СРЕДНЕЙ». Формирование матрицы опроса эксперта проводится по правилам теории планирования эксперимента с учетом дробности полного факторного эксперимента [4]. Расчет коэффициентов полинома проводится путем традиционных действий с матрицей опроса, принятых в теории планирования экспериментов. Результирующее уравнение в кодированном виде имеет вид

$$Y = 0,516X_1 + 0,312X_2 - 0,343X_3 + 0,321X_1X_2 - 0,178X_2X_3. \quad (3)$$

В уравнении представлены только значимые коэффициенты на уровне значимости 0,05. Ошибка определения коэффициента регрессии не превышает 0,03. Расчетное значение критерия Фишера 988,2. Уравнение имеет нелинейный характер, при этом значимыми являются двойные взаимодействия. Так взаимодействие  $X_2X_3$  указывает на то, что на приспособленность оказывает совокупное изменение трудового потенциала и рыночных цен на потребляемые ресурсы, что выражено через грузооборот безубыточности. Отрицательный знак при коэффициенте  $X_3$  свидетельствует, что при низких ценах на транспортные услуги и высоких ценах на потребляемые ресурсы, приспособленность грузовой автотранспортной системы будет снижаться.

Таким образом, на основе выбранного метода разработана логико-лингвистическая модель (фаззи-модель) для количественной оценки приспособленности грузовых автотранспортных систем полиномиальном виде, системно описывающая решение проблемы идентификации фактического уровня приспособленности. Всё это позволяет получать количественные оценки в рамках поставленной задачи с учетом показателей, несущих в себе большую часть качественной информации, которая не поддается точному описанию, т.е. являет-

ся нечеткой по своей сути. Представленная модель наглядно отражает количественные взаимные связи между уровнем приспособленности, потенциалом системы и критическим объемом производства, как показателем характеризующим рыночную ситуацию с ценами на транспортные услуги и потребляемые ресурсы. Предлагаемый вывод о виде модели с применением показателя «критический объем производства», уровня постоянных и переменных затрат логически следует из общепринятой модели прибыли как результативности работы автотранспортного предприятия [6]. Вместе с тем в модели декларируется влияние человеческого фактора на уровень приспособленности грузовой автотранспортной системы в реальных условиях эксплуатации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Резник, Л.Г. Эффективность использования автомобилей в различных условиях эксплуатации / Л.Г. Резник, Г.М. Ромалис, С.Т. Чарков. -М.: Транспорт, 1989. -128 с.
- 2 Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такохара. -М.: Мир, 1973. -173 с.
- 3 Спесивцев, А.В. Управление рисками чрезвычайных ситуаций на основе формализации экспертной информации / А.В. Спесивцев; под ред. В.С. Артамонова. -СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. -238 с.
- 4 Налимов, В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. -М.: Наука, 1965. -328 с.
- 5 Смирнова, О.Ю. Современная парадигма исследования автотранспортных систем : современное состояние и инновации трансп. комплекса / О.Ю. Смирнова // Материалы международной научно-технической конференции / ГОУ ВПО ПГТУ. -Пермь, 2008. -С. 73-77.
- 6 Матанцева, О.Ю. Научно-методические основы планирования и анализа стоимости грузовых автомобильных перевозок в рыночных условиях хозяйствования: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 08.00.05 / О.Ю. Матанцева. -М., 2006. -38 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *грузовые автомобильные перевозки, приспособленность, фаззи-модель*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Резник Леонид Григорьевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Тюменский ГНГУ»*

*Смирнова Ольга Юрьевна, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Тюменский ГНГУ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *625000, г. Тюмень, ул. Володарского,38, ГОУ ВПО «Тюменский ГНГУ»*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО РЫНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БИЗНЕСА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей  
сообщения»

**Н.Н. Григорьева**

**THE IMPROVEMENT OF THE SYSTEM OF THE DOMESTIC MARKET OF THE ENERGY BUSINESS ON RAIL TRANSPORT**  
«Irkutsk state railway transport university»  
N.N Grigoryeva

There is developed the system of the domestic energy business functioning on railway and means of its transformations during the re-organization of rail transportation and energetics.

Изложены система функционирования внутреннего энергетического бизнеса на железной дороге и пути ее трансформации в период проведения реформ на железнодорожном транспорте и в большой энергетике

Изменившиеся условия функционирования железнодорожного транспорта, связанные со структурными преобразованиями в экономике и энергетике страны, а также необходимостью сохранения за железными дорогами признаков естественно-монопольных видов деятельности со всей остротой ставят проблему совершенствования внутреннего рынка энергетического бизнеса на железной дороге. Энергетический рынок на железнодорожном транспорте не отвечает новым экономическим условиям, поэтому нуждается в глубокой трансформации и изменении своих форм в соответствии с требованиями рыночной экономики.

В результате проведения реформ на железнодорожном транспорте и в большой энергетике внутренний энергетический бизнес на железной дороге претерпел изменения.

Так в октябре 2003 г. был создан Функциональный филиал ОАО «РЖД» «Энергосбыт», осуществляющий обеспечение электрической энергией структурные подразделения

ОАО «РЖД» и оказывающий услуги по передаче электрической энергии по сетям ОАО «РЖД» сторонним потребителям.

Основное направление деятельности «Энергосбыта» – филиала ОАО «РЖД» – работа на оптовом рынке электроэнергии и взаимодействие с субъектами оптового рынка электроэнергии, федеральными структурами и органами власти, в то время как основное предназначение структурных подразделений «Энергосбыт» – работа на розничном рынке электроэнергии и взаимодействие с розничными поставщиками электроэнергии и региональными (территориальными, местными) структурами и органами власти.

До реформирования рынка электроэнергетики РФ «Энергосбыт» непосредственно приобретал электрическую энергию у поставщиков, а затем перепродавал ее потребителям, энергопринимающие мощности которых были подключены к энергетическим сетям ОАО «РЖД», то есть занимался непосредственно сбытовой деятельностью. Схема покупки электроэнергии структурным подразделением «Энергосбыт» до реформирования рынка электроэнергетики РФ представлена на рисунке 1.

Таким образом, деятельность по приобретению электрической энергии в ОАО «РЖД» была построена по территориально-функциональному принципу, то есть в границах дорог, что крайне усложняло покупку электроэнергии у поставщиков электроэнергии.

Структурные подразделения «Энергосбыт» железных дорог в настоящее время взаимодействуют с различными поставщиками электрической энергии в границах нескольких регионов.

Так же следует отметить, что до вступления в силу постановления Правительства о реформировании рынка электроэнергетики Российской Федерации [1] «Энергосбыт» сам заключал договора с физическими и юридическими лицами, самостоятельно производил расчеты за реализованную электрическую энергию, чем была обусловлена большая дебиторская задолженность.

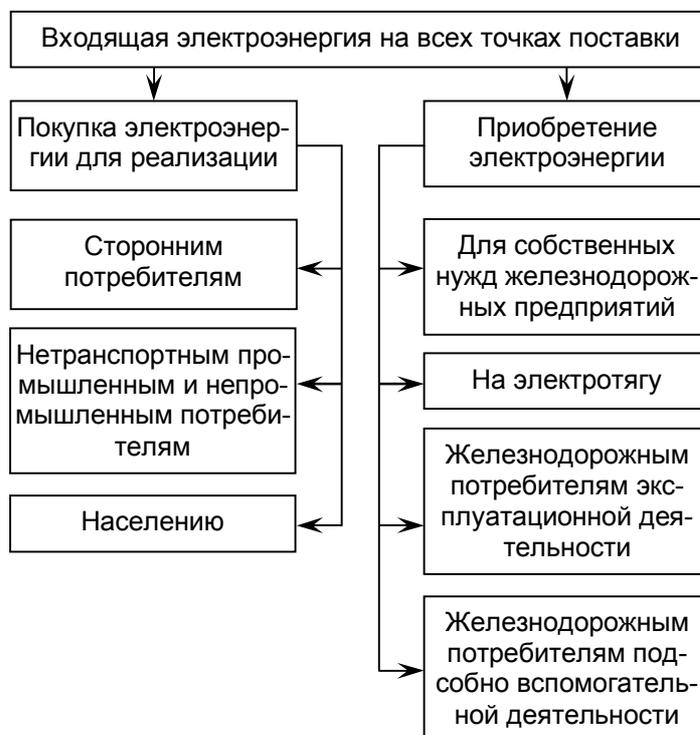
В связи с этим потребовались дальнейшие реформы на внутреннем энергетическом рынке железной дороги.

Решение задач, возникающих в железнодорожной электроэнергетике, в том числе установленных Энергетической стратегией ОАО «РЖД» на период до 2010 года и на перспективу до 2020 года [2] потребовало изменения принципов принятия управленческих решений и усиления координирующей и консолидирующей роли «Энергосбыта» – филиала ОАО «РЖД», то есть формирование вертикально-интегрированной структуры филиала для работы с субъектами оптового и розничного рынков электроэнергии и обеспечения собственного потребления железных дорог. В связи с этим изменилась и схема покупки электроэнергии (рисунок 2).

В новых условиях «Энергосбыт» работает в основном с энергосбытовыми компаниями, в нашем случае это – ОАО Читинская энергосбытовая компания (ОАО «ЧЭСК») и ОАО Дальневосточная энергосбытовая компания (ОАО «ДЭК»), которым присвоен статус гарантирующего поставщика электрической энергии в Читинской и Амурской областях.

«Энергосбыт» имеет договора с гарантирующими поставщиками на покупку электроэнергии и оказание услуги по ее передаче через сети ОАО «РЖД», адресованной абонентам, имеющим договора о поставке с гарантирующим поставщиком.

Сегодня ОАО «РЖД» не приобретает электроэнергию с целью дальнейшей ее перепро-



*Рисунок 1 – Схема покупки электроэнергии до реформирования рынка электроэнергетики Российской Федерации*

дажи и получения сбытовой наценки.

Прекращение деятельности по перепродаже электроэнергии позволило предприятию значительно снизить дебиторскую задолженность. Сейчас основным направлением деятельности «Энергосбыта» является удовлетворение в полном объеме собственных потребностей в электроэнергии железных дорог и транзит электрической энергии через энергетические сети ОАО «РЖД» для сторонних потребителей и населения.

Предприятие покупает электроэнергию для собственных нужд, необходимую на электротягу, промышленную эксплуатационную деятельность и промышленную подсобно-вспомогательную деятельность. Остальной объем входящей на ряде балансовых точек электроэнергии передается транзитом. Именно оказание такой услуги, как передача транзитом электроэнергии и оплачивается «Энергосбыту», как сетевой организации. Оплату производит гарантирующий поставщик электроэнергии то есть в Читинской области – ОАО «ЧЭСК», а в Амурской области – ОАО «ДЭК».

Подтвержденные объемы, переданной электрической энергии, вычитаются из всего количества электроэнергии поступившей в энергетические сети железной дороги, оставшийся объем приобретает «Энергосбыт».

При такой схеме взаимоотношений, на наш взгляд, есть явный плюс в том, что предприятию не приходится своими силами заключать договора со всеми потребителями, обслуживать потребителей, заниматься сбытовой деятельностью. Можно также отметить в данной модели более низкий показатель финансовых рисков, так как возможно осуществление балансировки отклонений. Но в то же время при организации транзита электроэнергии для сторонних потребителей через сети ОАО «РЖД» значительно возрастают сверхнормативные или так, называемые, коммерческие потери электроэнергии.

Коммерческие потери – это потери, обусловленные хищениями электроэнергии в связи несанкционированным подключением потребителей, мошенничеством с приборами учета и т.д.

В основном львиная доля коммерческих потерь приходится на электрические сети с низким напряжением на 0,4 кВ. Основным потребителем электроэнергии данного вида напряжения является население.

Величина коммерческих потерь определяется вычитанием из всего объема, поступившей в сети ОАО «РЖД» электроэнергии, суммы объемов электроэнергии, потребленной конечными потребителями, которые определяются по приборам учета, и объемом технологических потерь.

Подтвержденные объемы переданной электрической энергии вычитаются из всего количества электроэнергии поступившей в энергетические сети железной дороги, а разница (неподтвержденные объемы) представляет собой коммерческие потери. Согласно постановлению Правительства РФ №530 [3] неподтвержденные объемы переданной транзитом электроэнергии для сторонних потребителей железная дорога вынуждена приобретать и оплачивать как электроэнергию, приобретенную и израсходованную на собственные нужды по тарифу покупки, установленному региональной службой по тарифам в соответствующих областях. В этом случае увеличиваются расходы «Энергосбыта» в прочей деятельности по элементу «Электроэнергия», что ведет к ухудшению финансового результата.

Например, предприятие в 2007 году при организации транзита электроэнергии для сто-



*Рисунок 2 – Схема покупки электроэнергии при вертикально-интегрированной структуре управления*

ронных потребителей через сети ОАО «РЖД» получило убыток 32680 тыс. руб., тогда как до изменения схемы электроснабжения имело прибыль 2057 тыс. руб.

Такое положение дел вызвало необходимость у ОАО «РЖД» искать новые подходы и пути повышения эффективности работы «Энергосбыта» в составе железнодорожного транспорта.

Одним из путей по выявлению и сокращению коммерческих потерь, является точность и достоверность учета электроэнергии, от которых зависит своевременность и полнота оплаты услуг по ее передаче.

Решением задачи повышения достоверности учета электроэнергии является его автоматизация. Обеспечить равенство субъектов рынка предоставлением достоверной информации об объемах отпуска, передаче и качестве электроэнергии можно только с помощью приборов автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ), установленных на границах балансовой принадлежности ОАО «РЖД».

Она предназначена для комплексной автоматизации коммерческого учета и обеспечения принятия решений при покупке электрической энергии на оптовом рынке электрической энергии, мощности, организации корпоративного электропотребления и оказании услуг поставки электрической энергии и мощности сторонним потребителям.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Об электроэнергетике: федер. закон от 26 марта 2003 г. №35-ФЗ // Собр. законодательства. -2003. -№13.

2 Об утверждении правил функционирования розничных рынков электрической энергии в переходный период реформирования электроэнергетики: постановление Правительства РФ от 31 авг. 2006 г. №530 // Собр. законодательства. -2006. -№37.

3 Энергетическая стратегия ОАО «РЖД» на период до 2010 года и на перспективу до 2020 года.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* покупка электроэнергии, реформирование энергетики, реформы на железнодорожном транспорте, автоматизированная система контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ)

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* Григорьева Наталья Николаевна, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:* 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

### **РЕГУЛИРОВАНИЕ РЫНКА ТРУДА ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ КАК ФАКТОР БОРЬБЫ С БЕДНОСТЬЮ**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**Е.В. Кучерова**

**REGULATION OF LABOUR MARKET IN TRANSBAIKALIA FOR COMBATTING POVERTY**  
«Siberian state university of means of communication»  
E.V Kutchерova

A mathematical regression model has been suggested for making a long-term prognosis to determine weaknesses in Transbaikalian national economy to make management decisions for combatting poverty.

Предложена математическая регрессионная модель для составления долгосрочного прогноза с целью определения «узких мест» экономики Забайкальского края и принятия решений в рамках борьбы с бедностью.

Отечественная теория формирования и развития рынка труда находится в настоящее время в стадии становления. То же самое можно сказать и о теории борьбы с бедностью. Тем более в отечественной теории сегодня существуют лишь первые попытки сопряжения некоторых, как правило, единичных параметров рынка труда и феномена бедности.

За годы реформ изменился характер собственности, что привело к важным изменениям в функционировании всей социально-экономической системы. Собственность на рабочую силу и собственность на средства производства, землю, финансовые ресурсы обусловили возрождение противостояния «труда и капитала», возрождение пауперизма и их взаимовлияние. Однако некоторые исследователи полагают, что рынок труда в России еще не сформировался [1]. А это значит, что на рынке нет продавцов и покупателей товара «рабочая сила». Рынок труда в России функционирует с того момента, когда в Конституции РФ

было провозглашено право частной собственности (ст.35) и признано, что земля и другие природные ресурсы могут находиться в частной собственности [2]. Следовательно, рынок труда в России существует, но не в классической форме, предполагающей обмен эквивалентами, а, вследствие вмешательства государства, предстает в несколько деформированном виде. Поэтому, не только рынок труда сам по себе провоцирует явление бедности, но, попадая под воздействие государства, сегодняшний российский пауперизм усугубляется его нынешней политикой.

Установление числа бедных граждан и в России, и в регионе, а также выявление групп, наиболее подверженных риску оказаться за чертой бедности, являются вопросами стратегического значения. Отсутствие общепринятых показателей бедности ведет к необоснованным прогнозным оценкам финансирования государственных программ и предлагаемых законопроектов, затрудняет оценку «цены вопроса» в бюджетном процессе. Действующая в России статистическая практика базируется на распространении обобщенных данных, не отражающих всех возможных характеристик для изучения структуры бедности и сочетающих серьезные расхождения по уровню показателей. В качестве основных источников информации о бедности рассматривают обследование бюджетов домашних хозяйств, проводимое Госкомстатом России, и данные административного учета малоимущего населения при назначении адресной социальной помощи.

Первичная информация о бедности должна формироваться на основе специальных баз данных, которые бы позволили характеризовать масштабы, профиль, глубину, остроту, динамику бедности, исходя из общепринятых представлений о благосостоянии и пороге бедности. Первичную информацию можно было бы черпать и из разделов разрабатываемых на территориях социальных паспортов, практика разработки которых уже известна в Российской Федерации (например, в Москве, Московской области, в Иркутской области и т.д.).

На основе измерения бедности должна быть определена система перспективных индикаторов, отражающих подход к выявлению бедности, как многогранной (многомерной) проблемы. Такая система поможет получить представления о факторах, которые препятствуют или способствуют перераспределению доходов к домохозяйствам с низким доходом; поможет дать характеристику домохозяйств и людей, вовлеченных в приток и отток бедности; поможет выявить причины формирования этих потоков.

Система индикаторов уровня бедности должна быть дифференцирована с точки зрения выбора единицы анализа (отдельные лица, семьи, домохозяйства) и наиболее важных ее характеристик, в том числе и таких, которые позволили бы проводить верификацию данных выборочных обследований населения с данными административного учета. Кроме того, одной из важнейших задач является необходимость учета характера бедности на основе не денежных показателей (таких как, доступ к образованию, здравоохранению, занятости, жилью. Возможно измерение, например, и социальной отчужденности). Использование подобных показателей нужно приблизить к современной международной практике, в которой широко применяются показатели, позволяющие перейти от финансового понятия бедности к многомерному ее понятию - как процессу, который не позволяет людям в полной мере участвовать в жизни общества и быть социально интегрированными.

В рамках диссертационных исследований нами была разработана функциональная модель взаимодействия индикаторов, позволяющих выявить взаимосвязи с целью прогнозирования экономической ситуации в регионе. Модель построена для условия, что связи имеют степень влияния не менее 10 %, следовательно, точность определения индикатора составляет 90 %. Теоретическая формула зависимости функциональной модели может быть представлена следующим выражением [1]

$$x = a + by + cy^2 + dz + ez^2 + \dots,$$

где  $x$  – искомый индикатор;

$a, b, c, d, e \dots$  – коэффициент, определяющий степень влияния функционального индикатора;

$y, z$  – функциональный индикатор.

На основе функциональной математической модели представлена математическая зависимость индикаторов друг от друга и их влияние в формировании экономических условий Забайкальского края [2]

$$\left\{ \begin{array}{lllllll} A = f(F) & B = f(A, C, M) & C = f(A, F) & D = f(E) & E = f(A) & F = f(A) & G = f(A, F) \\ H = f(A) & I = f(A) & K = f(F) & L = f(A) & O = f(A, F) & P = f(A) & R = f(F) \\ U = f(A) & Q = f(F) & W = f(F) & Z = f(F, G, I) & V = f(F) & N = f(F) & M = f(A) \end{array} \right. ,$$

- где  $A$  – численность постоянного населения;  
 $B$  – естественный прирост (убыль) населения;  
 $C$  – миграционный прирост (убыль) населения;  
 $D$  – среднегодовая численность занятых в экономике;  
 $E$  – численность безработных;  
 $F$  – численность пенсионеров;  
 $G$  – денежные доходы населения;  
 $H$  – денежные расходы населения;  
 $I$  – среднедушевые денежные доходы населения в месяц;  
 $K$  – среднемесячная заработная плата работников в экономике;  
 $L$  – средний размер назначенных месячных пенсий;  
 $O$  – валовой региональный продукт;  
 $P$  – объем работ, по виду деятельности «строительство»;  
 $R$  – ввод в действие жилых домов;  
 $U$  – оборот розничной торговли;  
 $Q$  – оборот общественного питания;  
 $W$  – платные услуги населению;  
 $Z$  – инвестиции в основной капитал;  
 $V$  – внешнеторговый оборот, экспорт;  
 $N$  – внешнеторговый оборот, импорт;  
 $M$  – инфляция.

Математическая зависимость индикаторов и их влияние представлена в виде матрицы в таблице.

Таблица – Матрица индикаторов

X	Функциональные индикаторы																				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	O	P	R	Q	U	V	W	Z
A						+															
B	+		+									+									
C	+					+															
D					+																
E	+																				
F	+																				
G	+					+															
H	+																				
I	+																				
K						+															
L	+																				
M	+																				
N						+															
O	+					+															
P	+																				
Q						+															
R						+															
U	+																				
V						+															
W						+															
Z						+	+		+												

Из математических зависимостей видно, что индикаторы «численность постоянного населения ( $A$ )» и «численность пенсионеров ( $F$ )» прямо взаимозависимы друг от друга, тогда функциональная модель представляется полностью связанной. Однако, в привязке к индикатору «численность безработных ( $E$ )» группа индикаторов, такие как, «внешнеторговый оборот, импорт ( $N$ )», «оборот общественного питания ( $Q$ )», «ввод в действие жилых домов

( $R$ )», «внешнеторговый оборот, экспорт ( $V$ )», «платные услуги населению ( $W$ )», «среднемесячная начисленная заработная плата работников в экономике ( $K$ )» мало взаимосвязаны и зависят только от количества проживающих в регионе.

В формировании индикатора «численность безработных ( $E$ )» остальные индикаторы, а именно: «инфляция ( $M$ )», «объем работ, выполненных по виду деятельности «строительство» ( $P$ )», «денежные расходы населения ( $H$ )», «среднедушевые денежные доходы населения в мес. ( $I$ )», «оборот розничной торговли ( $U$ )», «валовой региональный продукт ( $O$ )», «денежные доходы населения ( $G$ )», «средний размер назначенных месячных пенсий ( $L$ )», зависят от индикатора «численность постоянного населения ( $A$ )», и, соответственно, прямо или косвенно влияют друг на друга.

На основании представленной регрессионной математической модели можно разрабатывать долгосрочные экономические мероприятия, исходя из имеющихся финансовых ресурсов региона с прогнозируемым результатом, приводящим к снижению уровня безработицы и как следствие к уменьшению социальной напряженности в обществе. Также становится возможным не только ведение научно обоснованной экономической политики в регионе с выполнением целей по улучшению конкретных индикаторов, но и выполнение экспертиз различных решений (проектов) на предмет наибольшей экономической эффективности.

В настоящее время в рамках диссертационных исследований уточняются параметры математической модели, на основании которой планируется составлять долгосрочный прогноз с целью определения «узких мест» экономики края для принятия управленческих решений в рамках борьбы с бедностью, выявления перспективных направлений вложения финансовых средств для развития экономики.

Представленная математическая модель разрабатывалась на основе статистических данных по Забайкальскому краю и поэтому ее применение в других регионах возможно только после проверки сходимости результатов работы самой модели с последующей корректировкой регрессионных зависимостей. Таким образом, разработанная нами система индикаторов позволяет:

- перейти от финансового понятия бедности к бедности, как многомерному понятию;
- уделять больше внимания локальным (в том числе гендерным, возрастным и т.д.) аспектам бедности;
- перейти от статистического к динамическому понятию бедности (в т.ч. для отражения длительности пребывания в бедности и определения характеристик хронической бедности);
- определять показатели ресурсов населения и порога бедности;
- включить в систему анализа бедности субъективные показатели, отражающие мнение населения в отношении собственного материального положения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Рынок труда и доходы населения: монография / под ред. Н.А. Волгина. -М.: Филинь, 1999. -15 с.

2 Конституция Российской Федерации: офиц. текст. -Гарболово: А. Громов, 2003. -39 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** бедность, безработица рынок труда, система индикаторов

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Кучерова Евгения Валерьевна, соискатель ГОУ ВПО «СГУПС»

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

### **ОРГАНИЗАЦИЯ ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

«Бийский технологический институт» филиал ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

**Т.В. Рубцова, Л.З. Муханова**

**INTRAPLANT CONTROL ORGANIZATION OF TRANSPORT ENTERPRISE WORK**

«Biysk Technological Institute»

T.V. Rubtsova, L.Z. Mukhanova

The organization of an effective system of internal control on a modern transport enterprise helps to find reserves of material resources utilization and stimulate searching the ways of cost price decrease. For finding and removing material losses the administration of the enterprise should develop typical procedures of control of economic activity. The development of regulation of document rotation is recommended as a control element.

Организация эффективной системы внутривладельческого контроля на современном транспортном предприятии, позволяет выявлять резервы использования материальных ресурсов и стимулирует разработку мероприятий по снижению себестоимости. Для своевременного выявления и устранения материальных потерь предприятиям необходимо разрабатывать типовые процедуры контроля хозяйственных операций. Рекомендуемым элементом контроля является разработка регламента документооборота.

Контроль – это одна из основных функций управления, представляющая процесс обеспечения достижения поставленных организацией целей и реализации принятых управленческих решений. Процесс контроля – это, с одной стороны, процесс установления стандартов и нормативов, оценки фактически достигнутых результатов и их отклонений от принятых стандартов; с другой – процесс текущего отслеживания выполнения управленческих решений [1].

Реализация контрольных функций позволяет собственникам хозяйствующего субъекта своевременно принимать меры по дальнейшему развитию бизнеса в направлении достижения намеченных программных целей, а управленческому персоналу своевременно выявлять зоны максимального финансового и налогового рисков.

В отличие от традиционной ревизионной и аудиторской деятельности задачи внутреннего контроля на предприятии глубже и шире. Это не просто выявление финансово-хозяйственных злоупотреблений и ошибок, это участие в управлении: выявление недостатков, анализ причин их возникновения, оперативное реагирование, принятие решений по исключению этих недостатков в будущем [2, 3].

Внутривладельческий контроль путем выявления резервов использования материальных и трудовых ресурсов стимулирует разработку мероприятий по снижению себестоимости выпускаемой продукции, следовательно, повышает финансовую устойчивость хозяйствующего субъекта и его конкурентоспособность.

Проблема организации эффективной системы внутривладельческого контроля является весьма актуальной для современных российских предприятий, работающих в условиях жесткой конкуренции, неопределенности и рисков. Необходимость эффективной организации внутривладельческого контроля понимается руководителями многих современных предприятий и организаций города Бийска, занимающихся разными видами деятельности, имеющими широкий ассортимент продукции или услуг, и, соответственно, сложную структуру затрат.

Рассмотрим организацию внутреннего контроля на примере функционирования предприятий, обеспечивающих реализацию муниципальных транспортных услуг. Неэффективность организации внутривладельческого контроля, как управленческой функции, выявляется в результате финансовых проверок предприятий.

В структуре городского транспорта доминирующую социально-экономическую роль для населения имеет муниципальный транспорт, которому в условиях конкуренции необходимо изыскивать ресурсы для снижения себестоимости оказываемых услуг. В городе Бийске используется два вида общественного транспорта: трамвай и автобус, наиболее востребованным из которых является трамвай [4]. Трамвайная система в городе Бийске эксплуатируется муниципальным унитарным предприятием (МУП) «Трамвайное управление». Ежегодный объем перевозок составляет около 20 млн. пассажиров, при населении города более 220 тыс. человек [4].

Вся информация о плановых и фактических результатах финансово-хозяйственной деятельности предприятия в целом аккумулируется в финансовой службе. От того насколько своевременно и достоверно предоставляется информация о хозяйственной деятельности предприятия в финансовую службу, будет зависеть принятие верных и оперативных управленческих решений.

В структуре себестоимости городского транспорта наибольший удельный вес имеют материальные расходы (30-40%). Расходы предприятия концентрируются в основном в следующих подразделениях:

- депо, где осуществляются ремонтные работы подвижного состава;
- служба пути, где осуществляются ремонтные работы трамвайных путей.

Особенностью трамвайных организаций является то, что непрерывно осуществляется капитальный и текущий ремонт вагонов и путей. Такой вид ремонта требует организации непрерывного хозяйственного контроля.

Капитальный и текущий ремонт объектов основных средств выполняется на основании

планов, которые составляются в соответствии с отраслевыми нормативными документами. Документами, подтверждающими произведенные расходы по ремонту, являются приказы, дефектные ведомости (акты) с указанием обнаруженных дефектов и неисправностей, требующих устранения, сметы с указанием конкретного места проведения ремонтных работ, наименования и объема произведенных работ. После завершения всего комплекса работ, их результат должен оформляться актом приема-сдачи отремонтированных, реконструированных и модернизированных объектов основных средств (форма № ОС-3), в котором приведены сведения о произведенных затратах, связанных с ремонтом, полноте и качестве выполненных работ.

В депо предприятием регулярно осуществляются ремонтные работы (капитальные и текущий ремонт) подвижного состава – вагонов. Расчеты стоимости ремонтов и осмотров производятся в соответствии с «Руководством по системе технического обслуживания и ремонта трамвайных вагонов и троллейбусов». Постановка вагонов на капитальный и текущий ремонт оформляется актом комиссионного осмотра трамвайного вагона, в котором указываются виды работ при проведении капитального ремонта. На первоначальном этапе проведения ремонта осуществляется демонтаж вагона, при этом некоторые демонтированные детали могут быть использованы в дальнейшем. Иногда наблюдается неполное отражение в бухгалтерском учете поступления товарно-материальных ценностей по результатам разборки вагонов. Не подтверждается документально фактическое списание материалов, непригодных для дальнейшего использования, а также материалов, которые могут использоваться при проведении ремонтных работ. В результате происходит искажение стоимости произведенных затрат по ремонтным работам.

Одним из способов внутреннего контроля за эффективным использованием товарно-материальных ценностей является сопоставление нормативных данных с фактическими, выявление и устранение причин отклонений. В процессе финансовой проверки проведен анализ обоснованности списания материальных расходов на капитальный ремонт вагонов и выявлено, что фактический расход материалов имеет отклонение от норм, утвержденных предприятием (таблица 1).

*Таблица 1 – Расход материалов при капитальном ремонте вагона №174*

Наименование материалов	Нормативный расход	Фактический расход	Отклонение расходов фактических от нормативных, %
Дорожка рифленая, кг	92,0	97,6	6,1
Бандаж, шт.	1,8	2,2	22,2
Карданный вал, шт.	3,4	4,0	17,6
Аккумулятор 5KL-125, шт.	3	4	33,3

Отклонения фактического расхода от нормативного выявлены при списании материалов на капитальный ремонт и других вагонов, при этом документы, обосновывающие перерасход отсутствуют, что может отражать неэффективное использование ресурсов предприятия.

При проведении проверки данных бухгалтерского учета выявлено, что в марте месяце при проведении ремонта путей произведено списание материалов на сумму 1520 тыс. руб. на основании информации, изложенной в акте на списание материалов и в дефектной ведомости. Согласно указанным документам в марте выполнялись текущие ремонты на нескольких объектах и при выполнении ремонта списано значительное количество материалов. Подобное по объему списание материалов осуществлено на предприятии только в двух месяцах: июне и августе. Правомерность списания в марте столь значительного количества материалов вызывает сомнение, поскольку климатические условия марта не позволяют выполнять значительные объемы ремонтных работ, связанных с заменой рельс.

Предприятию целесообразно обратить внимание на необходимость своевременного, правильного и полного оформления всех первичных учетных документов, так как в случае разногласий с налоговыми органами по характеру производимых работ, исход дела во многом будет зависеть от того, как оформлены первичные документы.

Результаты проверки организации внутреннего контроля позволяют утверждать, что постановка документооборота на предприятии не соответствует установленным нормам, то есть оформление документов в некоторых случаях осуществляется не в момент совершения хозяйственных операций, а значительно позже, что свидетельствует о недостаточном уровне

не контроля со стороны руководства за производственным процессом.

На предприятии наблюдается нерациональное распределение обязанностей между материально-ответственными лицами. В службе пути имеются две основные бригады, осуществляющие текущий и капитальный ремонт трамвайных путей. Ответственными лицами за материалы, используемые при капитальном и текущем ремонте, предприятию следовало назначать работников, непосредственно отвечающих за выполнение работ. Однако акты на списание материалов поручено оформлять бригадиру ремонтных поездов, который не имеет прямого отношения к ремонту и не владеет полной информацией по объему ремонтных работ и использованных материалов. В документах, представленных для проверки, отсутствует наименование видов выполненных работ, по которым производилось списание материалов.

В ходе проверки некоторых видов выполненных работ и фактического списания материалов выявлены отклонения фактического списания от нормативного (таблица 2).

*Таблица 2 – Использование материалов при выполнении работ по службе пути за первый квартал 2007 и 2008 г.*

Наименование использованных материалов	Нормативный расход	I квартал 2007 г.	I квартал 2008 г.	Отклонения нормативного расхода от фактического, %	
				2007 г.	2008 г.
Газ-пропан, м <sup>3</sup>	120	140	154	17	28
Кислород, м <sup>3</sup>	306	372	362	22	18
Электроды МР, кг	45	59,5	61,8	32	37
Электроды УОНИ, кг	195	248	132	27	21

Как видно, существенные отклонения фактического списания материалов от нормативного наблюдаются по всем позициям и составляют 17-32% в первом квартале 2007 года и 18-37% в первом квартале 2008 года. Причины перерасхода документально не зафиксированы и руководителями соответствующих служб не выяснены.

При проведении анализа структуры материальных ресурсов, используемых службой пути, за основу приняты данные, представленные в актах на списание материалов, согласно которым списание электросоединительных стыков в количестве 304 штук произведено только в марте 2008 года. При этом работы по приварке стыков производились регулярно в течение всего квартала. В документах отсутствует информация о том, на каком участке пути для проведения текущего и капитального ремонта были использованы материалы.

Анализ использования материальных ресурсов подразделением депо, проведенный на основе проверки актов о списании материалов, отразил отсутствие системы учета списания материалов на выполнение текущего ремонта подвижного состава. В актах не отражено, на какие виды ремонтных работ и какого вагона произведен расход материалов.

Можно сделать вывод о том, что на предприятии отсутствует эффективный внутрихозяйственный контроль над использованием материальных ресурсов, которые оказывают существенное влияние на формирование себестоимости предоставляемых услуг.

Для своевременного выявления и устранения материальных потерь предприятию необходимо разработать формальные типовые процедуры контроля хозяйственных операций.

Обязательным элементом контроля является разработка регламента документооборота. При этом необходимо закрепить за каждым подразделением списки документов, с которыми они должны работать. Добиться этого можно, привлекая к созданию регламента руководителей всех функциональных подразделений.

Для эффективного управления материальными ресурсами предприятию рекомендуется:

- осуществлять оперативный контроль над списанием материальных ресурсов на определенные виды работ;
- регулярно проводить анализ фактического расхода материальных ресурсов с целью сравнения с нормами утвержденными предприятием;
- разработать положение по экономическому стимулированию работников при экономном использовании материальных ресурсов в основных подразделениях предприятия.

Предложенные мероприятия позволят наладить на предприятии действенный внутрихозяйственный контроль над использованием материальных ресурсов и выявить резервы для снижения себестоимости оказываемых населению транспортных услуг.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Виханский, О.С. Стратегическое управление: учебник / О.С. Виханский. -М.: Гардари-ка, 1998. -296 с.
  - 2 Макоев, О.С. Контроль и ревизия: учеб. пособие / О.С. Макоев ; под ред. В.И. Подольского. -М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. -256 с.
  - 3 Румянцев, А.В. Финансовый контроль: курс лекций / А.В. Румянцев. -М.: Дело и сервис, 2003. -144 с.
  - 4 Режим доступа: <http://www.tram.bisk.ru/>
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *внутрихозяйственный контроль, предприятие транспорта*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Рубцова Татьяна Владимировна, доцент «Бийского технологического института» филиал ГОУ ВПО «Алтайский ГТУ»*  
*Муханова Людмила Захаровна, канд. техн. наук, доцент «Бийского технологического ин-ститута» филиал ГОУ ВПО «Алтайский ГТУ»*
- ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *659305, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 27, «Бийский технологический инсти-тут» филиал ГОУ ВПО «Алтайский ГТУ»*

**ПРОБЛЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ РАЗВИТИЯ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ ЛИЗИНГА**

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

**А.О. Самбур**

**THE PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF RIVER TRANSPORT ON LEASING WITH THE SUPPORT OF THE STATE**  
**«Novosibirsk state academy of water transport»**  
A.O. Sambur

The article deals with the main measures of state support of river transport development on leasing principle.

Рассмотрены необходимые меры государственной поддержки в вопросах обновления и совершенствования речного флота на основе лизинга.

На современном этапе развития большинства ведущих стран мира, находящихся в тесной взаимосвязи и имеющих высокие объемы встречной торговли, необходимо постоянно обслуживать потребности грузоотправителей в перевозке грузов. Для обеспечения и поддержания высокого уровня товарообмена каждая страна нуждается в мощном хорошо развитом транспортном комплексе.

Россия занимает стратегически выгодное территориальное положение на пути между Европой и Юго-Восточной Азией. Крайне важно наилучшим образом использовать удобное географическое местоположение России, в качестве одного из основных транзитных транспортных коридоров по доставке грузов в направлении «Восток-Запад». Это позволит отечественным грузоперевозчикам в нынешних условиях кризиса полностью задействовать весь простаивающий подвижной состав и тем самым увеличить обороты компаний, получая при этом дополнительный доход. При этом необходимо особое внимание уделить удовлетворению потребностей грузоотправителей во внутренних грузоперевозках. Вышесказанное подтверждает серьезное значение, которое должно быть уделено развитию транспортного комплекса России в ближайшие годы.

В условиях, когда Северный морской путь, проходящий вдоль северной морской границы России, становится более доступным для осуществления постоянного судоходства, очень остро стоит вопрос создания новых альтернативных маршрутов доставки грузов для поддержания постоянно увеличивающейся международной торговли. По данным Минтранса РФ объем перевозок в Арктике к 2010 году увеличится в 10 раз [1]. В ближайшей перспективе использование Северного морского пути поможет не только оптимизировать транспортные грузопотоки, но и подтолкнуть к решению проблемы по обновлению и модернизации морского и речного флота России. К тому же решение задачи по увеличению внутреннего валового продукта страны потребует проведения в экономике структурных преобразований, которые неизбежно повлекут увеличение грузоперевозок по рекам, повышение качества и увеличение пропускной способности рек, так как необходимо будет перераспределять грузопотоки с «перегруженных» железных дорог и автотрасс на альтернативные магистрали, в том числе и речные.

Стратегической задачей речного транспорта Сибири является интегрирование внутренних водных путей в общую транспортную систему восточных районов и России в целом, выход на мировой уровень по техническим параметрам и качеству услуг. Таким образом, будет создан единый транспортный коридор: воздушный-железнодорожный-автомобильный-морской-речной транспорт с выходом на Северный морской путь.

На настоящий момент Россия располагает самой большой в мире сетью судоходных внутренних водных путей, порядка 102 тыс. км. Несмотря на то, что речные перевозки значительно экономичнее, безопаснее и экологичнее, чем автомобильные и железнодорожные, речной флот используется в нашей стране крайне неэффективно. Это происходит из-за того, что рабочее ядро транспортного флота морально и физически устарело. Свыше 70 % транспортных судов исчерпали свой нормативный срок службы, их техническое и эксплуатационное состояние подошло к критическому уровню [4]. Расходы на техническое поддержание изношенного флота и использование неэкономичных силовых установок делают перевозки речным транспортом низко рентабельными, а порой и убыточными. Кроме того, отсутствие устойчивого спроса на перевозки речным транспортом не дают возможности судоходным компаниям планировать мероприятия по модернизации и обновлению подвижного состава.

В рыночной экономике основными источниками обновления основных средств предприятий выступают собственные средства компаний либо кредитные ресурсы. В нынешних условиях российские банки выдают кредиты только тем компаниям, которые могут предложить обеспечение по кредиту в виде залога недвижимого или движимого имущества, в том числе государственных и иных ценных бумаг, банковские гарантии и иные способы, предусмотренные федеральными законами [7]. Судоходным компаниям и портам, с изношенными основными фондами и неликвидными объектами недвижимости, проблематично предложить банку в залог что-то существенное в обеспечение исполнения обязательств по кредиту. Если компаниям все же удастся найти обеспечение для получения кредита, то, как правило, обслуживание кредитных обязательств по основному долгу и процентам ложится на них тяжким бременем. В настоящее время государство оказывает помощь судоходным компаниям, лишь субсидируя процентные ставки по кредитам, взятым на приобретение судна, чего явно недостаточно [3]. Помощь государства должна носить комплексный характер с применением и других рыночных механизмов.

Во многих развитых рыночных странах наиболее выгодным и доступным инструментом обновления применяемых компанией основных средств является лизинг. Лизинг (финансовая аренда) предполагает передачу лизингодателем лизингополучателю предмета лизинга за определенную плату, на определенный срок и на определенных условиях во временное владение и в пользование с переходом или без перехода к лизингополучателю права собственности на предмет лизинга [6]. Лизингополучатель оплачивает лизинговые платежи, которые в полном объеме относятся на себестоимость, уменьшая при этом налогооблагаемую базу по налогу на прибыль. В лизинговый платеж может включаться налог на имущество (в зависимости от балансодержателя предмета лизинга), страхование предмета лизинга, транспортный налог и прочие предусмотренные законом затраты. Кроме того, предмет лизинга сам выступает залогом по лизинговой сделке и часто не требует от компании дополнительного обеспечения.

Сегодня немногие лизинговые компании готовы работать с речными судами из-за их высокой стоимости и проблематичности их реализации в случае дефолта лизингополучателя. В России лизингодатели проявляют невысокий интерес к лизинговым сделкам с речными судами. Из наиболее крупных сибирских лизингодателей можно отметить только компанию «АльянсРегионЛизинг», реализовавшую несколько лизинговых проектов с речным транспортом на общую сумму 296 327 тыс. руб. [5].

Для решения проблем развития речного транспорта необходимо как можно скорее приступить к разработке и внедрению программы по комплексной поддержке речного флота на основе лизинга, которая будет стимулировать лизинговые компании к совершению сделок с речным транспортом. Помимо этого, необходимо проработать вопрос о создании специальной смешанной коммерческой лизинговой компании с участием государственного капитала - «Речфлотлизинг», которая могла бы быть интегрирована в ОАО «Объединенная судостроительная корпорация».

Для стимулирования лизингодателей к масштабным инвестициям в реализацию проектов с речным транспортом государству необходимо: во-первых, предоставить лизингодате-

лям субсидии, налоговые льготы и разработать пакет государственных гарантий по реализации сделок с речным транспортом, во-вторых, выработать более масштабную концепцию поддержки и развития российских судоходных компаний и приступить к её реализации. Для выполнения данных задач нужно вести работу по широкому спектру направлений, заниматься поиском компромиссных решений между лизинговыми и судоходными компаниями, банками и судостроительными заводами с целью выработки для всех сторон взаимовыгодных и приемлемых условий. На наш взгляд, для нормализации и улучшения нынешнего положения речного флота России, государству необходимо реализовать следующие мероприятия:

1) Меры поддержки лизинговых компаний. Целью деятельности любой коммерческой лизинговой компании является получение прибыли. Большинство лизингодателей для осуществления своей деятельности используют заемный капитал, поэтому лизинговой компании необходимо не только покрыть все понесенные расходы по проекту, но и рассчитаться с кредитором. В силу этого лизингодатели стараются заключать сделки с лизингополучателями, имеющими хорошее финансовое состояние. При этом огромное внимание уделяется ликвидности предмета лизинга, ведь при несостоятельности лизингополучателя лизинговая компания вынуждена будет самостоятельно заняться реализацией изъятого предмета лизинга.

При осуществлении сделок с судоходными компаниями лизингодатели должны учитывать:

- неравномерность финансовых потоков судоходных компаний, вследствие сезонности навигации на реках;
- повышенные риски, связанные с нестабильностью финансового состояния речных перевозчиков;
- ликвидность судна, как предмета лизинга.

На Сибирских реках, в частности на реке Обь, навигация длится около 6 месяцев в году. Именно на период навигации приходятся наибольшие финансовые обороты судоходных компаний. Поэтому лизингодатель, при расчете лизинговых платежей для «речников», должен составлять график выплат таким образом, чтобы в периоды зимнего отстоя флота у лизингополучателя платежи были минимальны (при этом у лизингодателя будет формироваться дебиторская задолженность), а в период навигации платежи были увеличены.

Риски, связанные с нестабильностью финансового состояния речных перевозчиков, выражаются в следующем: большая часть судоходных компаний в условиях нестабильности заказов на перевозки не в состоянии инвестировать средства в приобретение новых судов. Огромная часть доходов компаний уходит на закупку топлива и ежегодный плановый ремонт подвижного состава. К тому же часто по итогам года судоходные компании получают отрицательный финансовый результат.

На принятие конечного решения по финансированию сделки со стороны лизингодателя может повлиять ликвидность предмета лизинга. Как правило, из-за разных судоходных условий и различных гарантированных глубин на реках, речные суда в большинстве своем являются неликвидными предметами лизинга. Поэтому, для поддержания решимости и желания лизинговых компаний более охотно финансировать сделки с речным транспортом, государству следует:

- предоставить лизинговым компаниям и банкам налоговые льготы, в части налогов и сборов, уплачиваемых в федеральный и региональный бюджеты;
- предоставить инвесторам – участникам лизинговых сделок инвестиционные налоговые кредиты, предусмотренные Налоговым кодексом, Бюджетным кодексом и другими законодательными актами;
- выделение инвесторам на конкурсной основе средств из бюджета для финансирования инвестиционных лизинговых проектов, а также вхождение государства в проекты путем финансового участия в сделках;
- предоставление банкам, лизинговым компаниям государственных гарантий;
- создание из государственного имущества залоговых фондов для обеспечения банковских инвестиций в лизинг речного транспорта;
- целевое субсидирование лизинговых платежей или процентов по кредиту, привлекаемому лизингодателем;
- прямые инвестиции региональных властей в капитал региональных лизинговых компаний.

2) Меры поддержки судоходных компаний. Из всех видов транспорта по перевозкам гру-

зов внутри страны наименьшей ресурсоемкостью обладает речной транспорт. Значительно снизить удельные затраты по речным перевозкам возможно, если использовать суда с современными экономичными двигателями.

В ближайшей перспективе, с учетом включения Северного морского пути и интегрирования внутренних водных путей в общую транспортную систему восточных районов и России в целом необходимо будет:

- обеспечивать поддержание гарантированных глубин на всем протяжении судового хода магистральных рек;
- инвестировать средства в создание транспортно-логистических центров (хабов), куда будут стекаться, формироваться, а затем распределяться грузопотоки;
- переориентировать часть государственных заказов по перевозке грузов на речной транспорт (при условии создания транспортно-логистических центров);
- предоставить государственные гарантии лизинговым компаниям, где предметом лизинга выступает судно отечественной постройки.

Эти мероприятия позволят судоходным компаниям максимально полно задействовать всё имеющееся в их распоряжении количество флота. Бюджеты компаний возрастут и позволят начать процесс интенсивного обновления и совершенствования подвижного состава флота, что позволит компаниям увеличить грузооборот, выручку и прибыль. Это приведет к улучшению финансово-экономических показателей судоходных компаний, что отразится на стоимости привлекаемых лизингодателем кредитных средств под реализацию конкретного проекта (для конкретного лизингополучателя). От стоимости привлекаемого финансирования, в свою очередь, будет зависеть ставка удорожания предмета лизинга для лизингополучателя. Как итог, многие компании смогут ориентироваться на стратегию долгосрочного развития и планирования основной деятельности по осуществлению грузоперевозок.

### 3) Создание специальной лизинговой компании – «Речфлотлизинг»

В настоящее время вопрос о создании специальной лизинговой компании, предоставляющей в лизинг речные суда, является как никогда актуальным. Данная компания могла бы объединить в себе как долгосрочный государственный капитал, так и капитал частных инвесторов, готовых вложить средства в надежные активы, обеспеченные гарантией государства. В обязанности компании «Речфлотлизинг» необходимо вменить функции заказчика на проектирование и строительство речных судов и другой дорогостоящей техники по заявкам (договорам) судоходных предприятий для последующей передачи им на условиях лизинга [2].

Учитывая направленность деятельности лизинговой компании на работу с речными флотом, возможна ее интеграция в недавно созданную государством корпорацию – ОАО «Объединенная судостроительная корпорация». При этом компания «Речфлотлизинг» будет осуществлять не только функции «генерального дистрибьютора» российских речных судов, по которым государство будет предоставлять лизингополучателю пакет государственной поддержки и льгот, но и финансировать сделки по приобретению судов иностранного производства. Для увеличения количества лизинговых контрактов по судам отечественного производства в судостроительной отрасли необходимо будет решить ряд принципиально важных вопросов, а именно:

- по стимулированию повышения конкурентоспособности российских судостроительных предприятий. Должна быть жесткая типизация речных транспортных судов, которая позволит снизить стоимость единицы подвижного состава за счет эффекта масштаба и уменьшение затрат на их изготовление;
- по освобождению от ввозного НДС и импортной пошлины судового комплектующего оборудования, не производимого в Российской Федерации;
- по снижению ставки НДС на суда, производимые верфями Российской Федерации;
- по освобождению от налога на имущество и от земельного налога предприятий судостроения;
- по возмещению из федерального бюджета части затрат на уплату процентов по кредитам, полученным российскими судостроительными компаниями на осуществление технологического перевооружения российских верфей;
- по выделению средств федерального бюджета на приобретение за рубежом российскими судостроительными компаниями лицензий на отсутствующие в Российской Федерации передовые технологии производства судов и судового оборудования.

За последние 15 лет нашему государству не удавалось уделять должного внимания

проблемам речной отрасли. Но современная Россия, претендующая на звание великой речной державы, должна начать решать накопившиеся за последние годы проблемы по стимулированию банков и лизинговых компаний к финансированию сделок с речными судами под невысокие проценты; по обеспечению гарантированных глубин судового хода и поддержанию судоходных компаний новыми заказами на перевозку грузов; по выработке государственной политики в отношении российских судостроительных предприятий, задача которых заключается в производстве качественных и конкурентоспособных речных судов.

Решение вышеназванных задач в совокупности даст синергический эффект при возрождении отечественной речной индустрии. При этом ключевая роль должна быть отведена созданию специальной лизинговой компании, целью которой будет являться учет всех нюансов ведения бизнеса судоходных компаний, а именно сезонности, неравномерности поступления денежных потоков у судовладельцев, возможных операционных и финансовых рисков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Зачесов, В.П. Транспорт Российской Федерации. -№5, -2006. -С. 18.
- 2 Рагулин, И.А. Управление работой речного флота Сибири / И.А. Рагулин. - Новосибирск: Наука, 2003. -274 с.
- 3 Речной транспорт (XXI век). -№5,6. -2008.
- 4 Самбур, А.О. Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока -№2, -2008. - С. 75.
- 5 Технологии лизинга и инвестиций. -М.: 2008. -2(19). -С. 5-6.
- 6 Федеральный закон №164-ФЗ «О финансовой аренде (лизинге)» от 29 окт. 1998 г. (ред. от 26 июля 2006 г.), п.1, ст.4.
- 7 Федеральный закон №395-1 «О банках и банковской деятельности» от 02 дек. 1990 г. (ред. от 08 апр. 2008 г.), ст.33.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** государственная поддержка, государственные гарантии, лизинг, лизинговая компания, флот

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Самбур Александр Олегович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕМОНТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ЦИКЛА

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**Л.А. Полиновский**

**MODELING OF A REPAIR-OPERATION CYCLE**  
«Siberian state university of transport»  
L.A. Polinovsky

The problems of economic-mathematical modeling are reviewed at budgeting a repair-operation cycle. The performance of modeling is retined at system development of repair of workpieces.

Рассмотрены вопросы экономико-математического моделирования при планировании ремонтно-эксплуатационного цикла. Показана эффективность моделирования при разработке системы ремонта изделий.

Расходы на ремонт некоторых видов оборудования за время срока его эксплуатации могут в 8-10 раз превышать стоимость его изготовления. Потеря работоспособности и необходимость проведения ремонтных работ по состоянию возникает вследствие внезапного отказа или в том случае, если один из контролируемых параметров превысит предельный уровень. На основании опыта эксплуатации сложилась многоуровневая система контроля, обслуживания и ремонта, которая обеспечивает надежность и стабильность работы оборудования. Однако научно-производственный опыт свидетельствует о значительных резервах совершенствования существующей системы эксплуатации и ремонта.

Применение моделирования целесообразно при анализе эффективности ремонтно-эксплуатационного цикла, планировании новых технологических процессов и мероприятий, направленных на совершенствование системы ремонта.

Использование комплексной экономико-математической модели в сочетании с совре-

менными информационными возможностями и методами восстановления работоспособности позволит повысить качество принимаемых решений по вопросам совершенствования технологических процессов эксплуатации и ремонта.

К управляемым параметрам при моделировании относятся режимы эксплуатации и восстановления, периодичность контроля и ремонта. Применение современной системы диагностики и контроля позволяет перейти от жесткой планово-предупредительной формы ремонта к более гибкой системе ремонта по состоянию.

При разработке эксплуатационно-ремонтной системы определяются вид и количество оборудования, вопросы поддержания его работоспособного состояния и обеспечения ресурсами.

Разработка плана ремонта изделия начинается с планирования ремонта деталей, причем в первую очередь выделяются детали, наиболее значимые по ремонтности. Показателем ремонтности  $i$ -ой детали данного изделия является коэффициент затрат на её восстановление за определенный период времени или наработки  $k_i$ ,

$$k_i = \frac{C_i}{\sum C_i},$$

где  $C_i$  – ремонтные затраты для  $i$ -й детали;

$\sum C_i$  – суммарные ремонтные затраты для изделия или узла.

Ремонтные затраты определяются как сумма затрат на монтажно-демонтажные работы, на работы по восстановлению и потерь в связи с простоем изделия во время ремонта

$$C_i = k_c (C_M + C_P) + C_B,$$

где  $k_c$  – коэффициент снижения затрат при совмещении разных видов ремонта;

$C_M, C_P$  – затраты на монтажно-демонтажные работы и простой оборудования во время ремонта;

$C_B$  – затраты на восстановление.

Дополнительно учитываются расходы в связи с вероятностью аварийного выхода из строя узлов и деталей. Представим комплексную многослойную модель состоящей из нескольких уровней. К моделям первого уровня относятся модели *ММ*, *МП*, дающие описание поведения материалов и параметров технологических процессов.

Ко второму уровню отнесем модель *ММП*, объединяющую модели *ММ* и *МП* и позволяющую оценить поведение изделия или его частей при тех или иных технологических воздействиях. К третьему уровню относится стоимостная модель *МС*.

1 Модели *ММ* преимущественно теоретические. Модель *ММ*, устанавливающая связь между контролируемыми свойствами и поведением материала в условиях, которые могут иметь место при тех или иных технологических или эксплуатационных воздействиях.

Контролируемые свойства объекта определяются в условиях стандартных испытаний. Модели *МП* касаются изучения процесса и устанавливают связь между контролируемыми параметрами процесса и характером его воздействия на материал детали.

Особенности протекания процессов модели *МП*, изучаются в таких разделах прикладной науки как теория сварочных процессов, обработки металлов давлением, резанием и т.д.

2 Комплексная модель *ММП* второго уровня строится с использованием моделей *ММ* и *МП* и дает возможность оценить характер протекания процесса при разных характеристиках объекта и интенсивности технологических воздействий.

3 При применении стоимостной модели *МС* производится оценка затрат на инструмент, рабочую силу и электроэнергию, что дает возможность сделать обоснованный выбор инструмента, его геометрических параметров инструмента и режимов резания. Полная модель включает в себя ряд моделей

$$ММ - МП - ММП - МС,$$

причем модели *ММ - МП*, отражающие физические и термомеханические закономерности являются внутренними по отношению к внешним моделям *ММП* и *МС*.

Подобные модели используются для каждой стадии жизненного цикла изделия. Экономическое моделирование *МС* предполагает стоимостную оценку как самого объекта, так и процессов его преобразования. Характеристики процесса и отвечающие им изменения состояний изделия отражаются в его стоимостных характеристиках с использованием цепочки моделей *МП - МС*. При упрощенном анализе модели первого уровня *ММ - МП* могут не при-

существовать в явном виде.

При моделировании необходимо учитывать особенности процессов потери работоспособности нескольких групп деталей. Рассмотрим три группы деталей:

*А* – быстроизнашивающиеся, открытые детали, находящиеся в контакте с внешней средой, например, детали, относящиеся к рабочим органам землеройных и путевых машин;

*Б* – закрытые детали, работающие при переменных нагрузках и ограниченных относительных перемещениях;

*В* – детали подвижных сопряжений.

Для каждой группы деталей можно представить свою многоуровневую модель. На основании анализа, позволяющего уточнить вопросы планирования ремонта основных деталей, разрабатывается модель ремонта изделия.

В основе эксплуатационной модели первого уровня (модель *ММ*) лежат положения теории износа и усталостной прочности, которые опираются на результаты лабораторных исследований. Особенности протекания рабочих процессов, определяющих интенсивность локального нагружения и температурный режим во время эксплуатации, представлены соотношениями модели *МП*. Объединяющей моделью следующего уровня является модель *ММП*, хорошей проверкой которой являются результаты натурных испытаний. Стоимостная оценка процесса отражена в модели *МС*.

Разработка моделей для каждой из трех групп деталей имеет свои особенности. Детали, которые отнесены к группе *А* находятся в непосредственном контакте с рабочей средой. Это зубья, ножи, пики путевых, землеройных и сельскохозяйственных машин. Преобладающий вид износа – абразивный. Интенсивность износа зависит от механических свойств материала детали и, в частности, от его твердости [1], а также от абразивных свойств рабочей среды и режимов работы. Рациональный срок ремонта определяется двумя факторами: с одной стороны следует стремиться к сокращению количества ремонтов и увеличению продолжительности технологического использования, однако, с другой стороны, такое удлинение приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик и увеличению вероятности аварийного исхода. Оптимизация обычно сводится к сравнению вариантов (метод нулевого порядка). Этот метод используется, в частности, при определении сроков замены оборудования.

Выход из строя деталей этого вида происходит вследствие постепенного износа. Вероятность аварийного отказа вследствие хрупкого разрушения или ослабления поперечного сечения мала, а аварийный отказ не приводит к серьезным последствиям. При ремонте деталь заменяют или восстанавливают ее размеры.

Рассмотрена модель выбора межремонтной наработки быстроизнашивающихся деталей, относящихся к рабочим органам строительных и дорожных машин [2]. Исходными данными при построении модели являлись кривая износа и типовой технологический процесс восстановления. Результат отличаются от обычно используемого значения, соответствующего условию минимального относительного износа, на 12-30%.

Рациональная межремонтная наработка для деталей [3, 4], работающих при переменных нагрузках, определялась с учетом возможных аварийных отказов. Для деталей, входящих в состав подвижных соединений, рассматривалась модель, позволяющая определить оптимальные сроки ремонтно-восстановительных работ с учетом постепенного ухудшения эксплуатационных характеристик машин, которая связана с увеличением зазора в сопряжении.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Технологические основы обеспечения качества машин / К.С. Колесников [и др.]; под общ. ред. К.С. Колесникова. -М.: Машиностроение, 1990. -256 с.

2 Полиновский, Л.А. Рациональная периодичность восстановления быстроизнашивающихся деталей строительных и путевых машин / Л.А. Полиновский // Изв. вузов. Сер. Стр.-во. -2003. -№8. -С. 111-116.

3 Полиновский, Л.А. Технико-экономический анализ в машиностроении // Материалы и технологии 21 века: сб. ст. 3 Междунар. науч.-техн. конф. -Пенза, 2005. -С. 276-278.

4 Полиновский, Л.А. Технико-экономический анализ ремонтных работ в локомотивном хозяйстве / Л.А. Полиновский // Вестн. Сибир. гос.ун-та путей сообщения. -Новосибирск, 2003. -Вып. 5. -С. 130-138.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ремонт, рациональная периодичность, моделирование  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Полиновский Леонид Александрович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

## **ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРУКТУРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**В.А. Щербаков, К.А. Серезин**

**ECONOMIC ACTIVITY ANALYSIS OF THE STRUCTURAL SUBDIVISIONS OF RAIL TRANSPORT**  
«Siberian state university of transport»  
V.A. Shcherbakov

Purposes and tasks of the economic activity analysis of the structural subdivisions of rail transport are examined for purposes of the guarantee of its step by step reformation.

Рассматриваются цели и задачи экономического анализа деятельности структурных подразделений железнодорожного транспорта в целях обеспечения его поэтапного реформирования.

После выхода в свет постановления Правительства РФ №384 от 18.05.2001 г. «О программе структурной реформы на железнодорожном транспорте» [1] железнодорожный транспорт преобразовался в корпоративную структуру предприятий, подчиненных единой цели – предоставление транспортных и сопутствующих услуг. Итогом первого этапа реформирования железнодорожной отрасли стало создание ОАО «РЖД», перед которым стоят следующие обозначенные государством задачи:

- повышение уровня инвестиционной привлекательности и стоимости активов;
- создание эффективных механизмов финансирования развития инфраструктуры и обновление парка вагонов и локомотивов;
- повышение эффективности деятельности всех подразделений компании;
- повышение качества и стабильное предложение предоставляемых услуг по всей стране на основе унифицированных тарифов;
- снижение нагрузки транспортных издержек на экономику, увеличение средней скорости грузооборота;
- обеспечение координации и бесперебойности железнодорожного движения;
- развитие конкуренции на железнодорожном транспорте.

Для решения стоящих перед компанией задач она осуществляет следующие виды деятельности:

- грузовые перевозки;
- пассажирские перевозки в дальнем следовании;
- пассажирские перевозки в пригородном сообщении;
- предоставление услуг инфраструктуры;
- предоставление услуг локомотивной тяги;
- ремонт подвижного состава сторонних организаций;
- строительство объектов инфраструктуры;
- научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы;
- содержание социальной сферы.

ОАО «РЖД» – *вертикально интегрированная компания*, предоставляющая в России услуги в области грузовых и пассажирских железнодорожных перевозок. ОАО «РЖД» владеет преимущественной долей железнодорожных магистралей в России, станциями и вокзалами, депо и диспетчерскими системами, а также около 20000 ед. локомотивов и 650 тыс. ед. грузовых и пассажирских вагонов. В компании работают 1300000 сотрудников.

В настоящий момент корпоративная структура ОАО «РЖД» включает филиалы и представительства. Также имеет дочерние и зависимые общества, созданные в процессе реформирования. Весь пакет акций ОАО «РЖД» принадлежит Российской Федерации.

Миссия компании состоит в эффективном удовлетворении спроса на транспортные услуги, повышении универсальной конкурентоспособности, достижении финансовой устойчивости и обеспечении социальной ответственности бизнеса. В миссии компании заложена совокупность стратегий: роста, маркетинговой, оптимизации издержек, управления качеством, интеграции.

Миссия должна реализовываться через достижение стратегических целей:

- увеличение масштаба транспортного бизнеса;
- повышение производственно-экономической эффективности;
- повышение качества работы и безопасности перевозок;
- глубокая интеграция в Евроазиатскую транспортную систему;
- повышение финансовой устойчивости и эффективности.

Основными аспектами реформирования корпоративной структуры железнодорожного транспорта, отмеченными в «Программе структурной реформы на железнодорожном транспорте», непосредственно определяющими цели и задачи экономического анализа хозяйственной деятельности железнодорожного транспорта в новых организационно-правовых формах, таким образом, являются:

- объективность формирования финансовых результатов по структурным подразделениям и видам деятельности;
- формирование управления по видам деятельности, внедрение системы сегментарного учета по видам деятельности и структурным подразделениям хозяйствующего субъекта, а также системы управленческого учета;
- формирование самостоятельных бухгалтерских балансов по видам хозяйственной деятельности;
- переход на бюджетно-сметный принцип финансирования.

Сформулируем основные задачи экономического анализа деятельности структурных подразделений железнодорожного транспорта, являющиеся актуальными на данном этапе реформирования системы железнодорожного транспорта:

- анализ финансового состояния структурных подразделений в условиях действия бюджетно-сметного принципа финансирования;
- анализ эффективности использования закрепленного за структурным подразделением имущественного комплекса с учетом уровня бюджетно-сметного финансирования;
- анализ деловой активности структурного подразделения при заданном уровне бюджетно-сметного финансирования;
- анализ влияния на результаты финансово-хозяйственной деятельности структурных подразделений структуры и объемов транспортных услуг по видам деятельности.

Главными проблемами, которые необходимо решить при реализации первых трех задач, являются следующие:

- бухгалтерский баланс структурного подразделения, являющийся составной частью его бухгалтерской отчетности не отражает финансовое состояние данного хозяйствующего субъекта, так как не учитывает наличие бюджетно-сметного финансирования;
- не все основные средства, представленные в бухгалтерском балансе формируют результаты деятельности данного структурного подразделения;
- начиная с 2007 года структурные подразделения не составляют «Отчет о прибылях и убытках» и не учитывают доходы от основной деятельности (учитываются только доходы от вспомогательной деятельности).

Для проведения экономического анализа деятельности структурного подразделения на первом этапе необходимо сформировать аналитический бухгалтерский баланс. Для этого трансформируем бухгалтерский баланс из отчетности в соответствии с процедурами, представленными в таблице.

В таблице использованы следующие обозначения строк баланса структурного подразделения: (120) – Основные средства (01,02); (660) – Прочие краткосрочные обязательства (79); (240) – Дебиторская задолженность, платежи по которой ожидаются в течении 12 месяцев после отчетной даты; (440) – Целевое финансирование.

Показатель БФ численно равен сумме средств, предусмотренных на данный период в бюджете затрат структурного подразделения за минусом амортизационных отчислений.

Для решения задач определения эффективности деятельности структурного подразделения и его деловой активности необходимо рассчитать чистую прибыль (условную) струк-

*Таблица – Порядок трансформации баланса структурного подразделения в аналитический баланс для анализа его деятельности*

АКТИВ	ПАССИВ
Раздел I	Раздел III
(120)-(660)	(440)+БФ
Раздел II	Раздел IV
(240)+БФ	Раздел V
	(660)-(660)

турного подразделения соответствующую выполненным им объемам перевозок.

Введем понятие «условная выручка структурного подразделения» под которой будем понимать выручку, которую могло бы получить данное структурное подразделение при выполнении объемных показателей перевозочной деятельности (определяется в приведенных тонно-километрах и является составной частью отчетности данного структурного подразделения).

Величину условной выручки структурного подразделения можно рассчитать по формуле

$$B_y = \Gamma_{TKM} \cdot d,$$

где  $\Gamma_{TKM}$  – объем выполненных структурным подразделением приведенных тонно-километров;

$d$  – средняя ставка доходности по перевозкам.

Среднюю ставку доходности по перевозкам необходимо рассчитывать с учетом видов перевозимых грузов и типам пассажирских перевозок, но в первом приближении для проведения экспресс-анализа [2] данная ставка может быть определена по формуле

$$\bar{d} = \frac{B^{РЖД}}{\Gamma^{РЖД}},$$

где  $B^{РЖД}$  – выручка ОАО «РЖД» за соответствующий период;

$\Gamma^{РЖД}$  – объем приведенных тонно-километров, выполненных всеми подразделениями ОАО «РЖД» за соответствующий период.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 О Программе структурной реформы на железнодорожном транспорте: постановление правительства РФ от 18 мая 2001 г. №384 // Собр. законодательства Рос. Федерации. -2001. -№23. -С. 2366.

2 Щербаков, В.А. Оценка стоимости предприятия (бизнеса) / В.А. Щербаков, Н.А. Щербакова. -3-е изд., перераб. и доп. -М.: Омега-Л, 2009. -299 с.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* железнодорожный транспорт, экономический анализ деятельности, анализ финансового состояния подразделений

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:* Щербаков Валерий Александрович, канд. экон. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»  
Серезин Константин Александрович, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»

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

### **ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ КАЛЬКУЛЯЦИИ ДЛЯ РАСЧЕТА СЕБЕСТОИМОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**М.О. Северова**

**ON THE ISSUE OF FUNCTIONAL CALCULATION SYSTEMS USING FOR ACCOUNTING OF THE RAIL TRAFFIC PRIME COST**

«Siberian state university of transport»

M.O. Severova

Transformations, taking place in rail transport, have predetermined a necessity for developing of new approaches for costs determination of freight hauling. Using of the calculation functional systems helps to specify accounts, connected with the definition of a services prime cost, which are rendered by railway enterprises, and use it for interrelation between themselves and outside consumers.

Преобразования, происходящие на железнодорожном транспорте, предопределили необходимость разработки новых подходов к определению затрат по транспортировке грузов. Применение функциональных систем калькуляции позволяет значительно уточнить расчеты, связанные с определением себестоимости услуг, оказываемых железнодорожными предприятиями, и использовать их для взаимоотношений между собой и сторонними потребителями.

Вопросы, касающиеся расчетов себестоимости перевозок на железнодорожном транспорте, всегда являлись актуальными. Значительные преобразования, происходящие в железнодорожной отрасли, говорят о необходимости применения новых подходов к определению затрат на услуги транспорта.

Расчет себестоимости перевозок на железнодорожном транспорте значительно сложнее, чем расчет себестоимости продукции в других отраслях народного хозяйства. Действующая Номенклатура расходов, в соответствии с которой планируются и учитываются за-

траты на всех предприятиях железнодорожного транспорта включает в себя более 1000 статей расходов, которые имеют 4 уровня группировки. Вызвано это объективными особенностями транспортного процесса, который осуществляется на обширной территории, в пределах нескольких железных дорог, что усложняет процесс управления, учета, анализа и контроля затрат и вызывает необходимость распределения расходов между железными дорогами. При этом часть расходов планируется и учитывается централизованно, а затем распределяется по отдельным дорогам расчетным путем. Например, это расходы, связанные с деповским ремонтом и амортизацией вагонного парка, который обращается по всей сети.

Взаимодействие транспортных предприятий между собой для обеспечения процесса перевозок определяет необходимость учета и планирования общих централизованных расходов по сети железных дорог (расходы по составлению графика движения поездов, плана формирования поездов, сетевого расписания и т.д.).

Существуют также и определенные особенности эксплуатационной работы отдельных железных дорог, которые влияют на состав и размер затрат и себестоимость перевозок. Для дорог с преимущественно погрузочным характером работы (такой как Западно-Сибирская ж.д.) характерно увеличение расходов, связанных с подготовкой порожних вагонов под погрузку, содержание контингента, связанного с отправлением грузов и др. Дороги с большим удельным весом пассажирского движения несут дополнительные затраты по обслуживанию пассажиров и т.д.

Условность показателя, выражающего объем продукции, определяет большой удельный вес косвенных затрат. Сюда относится значительная часть расходов, связанных с содержанием и обслуживанием пути, устройств автоблокировки и автоматики, энергетики и связи и др. А, следовательно, увеличивается неточность при распределении затрат по видам продукции.

Исследованиями, посвященными совершенствованию расчетов себестоимости, занимались многие ученые транспортники. Особый интерес представляют работы Е.В. Михальцева, А.С. Чудова, А.И. Журавеля, В.Н. Орлова, А.П. Абрамова, Н.Г. Смеховой и др. На железнодорожном транспорте продукцией принято считать собственно перевозку грузов или пассажиров и соответственно рассчитывать себестоимость перевозки на показатель, условно характеризующий объем выполненной работы, 10 тонно-километров (грузооборот) или 10 пассажиро-километров (пассажирооборот). Этот показатель дает представление только о средних удельных затратах на транспортировку. На практике же перемещение грузов по сути своей является услугой, расходы на оказание которых, зависят от условий перевозки и практически никак не связаны с этими средними удельными затратами. Однако рассматриваемый показатель широко использовался и используется для оценки эффективности деятельности отдельных железных дорог, являлся основой для оценки и сравнения дорог между собой, а также для определения рентабельности перевозок по отдельным железным дорогам и распределения доходов.

Начавшая структурная реформа железнодорожной отрасли и образование ОАО «РЖД» в 2003 году внесли значительные изменения во взаимоотношения железнодорожных предприятий между собой, что отразилось на порядке учета расходов, связанных с перевозочным процессом.

В ранее существующей железнодорожной отрасли выделялись отраслевые хозяйства, обеспечивающие отдельные стадии и сегменты перевозочного процесса: локомотивное хозяйство – обеспечение собственно передвижения грузов и содержания локомотивов в надлежащем техническом состоянии, вагонное хозяйство – подготовку парка вагонов к перевозке и обслуживание их в пути следования, хозяйство пути – содержание и ремонт железнодорожного пути для обеспечения пропускной способности поездов установленной массы с необходимыми скоростями и т.д. Рассчитать расходы на перевозку можно было только просуммировав расходы всех отраслевых хозяйств, а получить удельные затраты – разделив полученные расходы на показатель, выражающий объем перевозок и величину получаемых доходов от клиентов.

В настоящий момент проведение реформы привело к образованию новых структур, выделенных из отраслевых хозяйств, которые являются в настоящее время функциональными филиалами ОАО «РЖД», вышли из подчинения железных дорог и находятся в ведении соответствующих Департаментов в центральном аппарате Компании, или дочерние и дочерние зависимые компании, которые также не входят в состав территориальных филиа-

лов (железных дорог). В результате в составе затрат на перевозку по отдельным железным дорогам расходы таких подразделений не отражаются и рассчитанные себестоимости перевозок по отдельным дорогам, на самом деле являются только частью расходов, приходящейся на железные дороги. Сфера применения этого показателя значительно сужается. Его не целесообразно использовать при расчетах эффективности различных мероприятий, выбора рациональной схемы перевозки или различных видов транспорта, предъявлении счетов нетранспортным организациям за выполненные услуги или при предъявлении претензий и т.п., так как он не отражает всех расходов, связанных с перевозкой грузов и пассажиров. Полные же затраты на перевозку возможно определить только на уровне сети в целом, когда сведены все отдельные составляющие расходов, связанные с обеспечением перевозочного процесса. Но этот показатель получается значительно усредненным, так как величина себестоимости колеблется по различным дорогам от 1,5 до 6,0 рублей за 10 тонно-километров.

С другой стороны, выделение дочерних компаний, занимающихся перевозкой пассажиров, контейнеров и др. видами деятельности, привело к тому, что эти предприятия при оказании или потреблении услуг предприятиям, входящими в территориальные филиалы (железные дороги), оплачивают их на основе заключенных договоров, а значит не по себестоимости, а учитывая необходимый уровень рентабельности, что также отражается на общих затратах по перевозке и рентабельности деятельности компании ОАО «РЖД» в целом.

Сказанное выше, говорит о том, что смысл показателя «себестоимость перевозок» несколько изменился и потерял свое значение и необходимы новые подходы к определению транспортных затрат с учетом изменившихся условий и требований сегодняшнего дня.

В последнее время одним из прогрессивных подходов для расчета себестоимости продукции является применение функциональных систем калькуляции. Считается, и не без оснований, что применение данного подхода может существенно уточнить распределение косвенных затрат по видам продукции. Особенно это актуально для предприятий, выпускающих широкий ассортимент товаров и услуг. Однако расчеты существенно усложняются за счет выбора научно-обоснованных драйверов затрат, так как применение функциональных систем предполагает многоступенчатое отнесение затрат, а также множественную базу распределения. Также необходимо определиться с местами возникновения затрат (видами деятельности).

По нашему мнению, применение данной системы калькуляции для расчета себестоимости не только перевозок, но и других услуг, оказываемых железнодорожными предприятиями, достаточно обосновано. В условиях когда предприятия, входящие в состав функциональных филиалов или дочерних компаний, оказывают услуги и выставляют друг другу счета (за ремонт подвижного состава, содержание путей, обслуживание устройств связи и др.), более точное распределение расходов имеет большое значение, это не говоря о взаимоотношениях со сторонними предприятиями (не входящие в состав ОАО «РЖД»).

В связи с вышесказанным, автором были рассмотрены различные подходы к распределению косвенных затрат на примере локомотивного депо, выполняющего ремонт пригородного подвижного состава для дочерней компании ОАО «РЖД», которая по существу является сторонним потребителем и оплачивает выполняемые услуги на основании заключенных договоров.

Потребитель не был согласен с высокой величиной накладных расходов, сложившейся в данном депо, которая была обусловлена не только эффективностью работы предприятия, а в основном сложившейся системой учета расходов и их делением в Номенклатуре на прямые производственные расходы и общепроизводственные. В данном случае были даны рекомендации по применению многоступенчатого распределения накладных затрат и учета их релевантности при отнесении по отдельным видам ремонта.

По мнению автора, вопрос учета и планирования расходов для предприятий, занимающихся ремонтом подвижного состава или оказанием других услуг, непосредственно не связанных с перевозкой грузов требует дополнительных исследований. Существующая, единая для ОАО «РЖД», Номенклатура расходов предопределяет большой удельный вес распределяемых затрат в таких предприятиях. По сути своей вагоно- и локомотиворемонтные депо становятся промышленным производством, для которых основным показателем становится себестоимость ремонта и точное ее исчисление является затруднительным при действующей классификации расходов. По мнению автора, целесообразно пересмотреть статьи общепроизводственных затрат (в соответствии с номенклатурой) и часть из них, связанных с

собственно ремонтным производством (содержание, обслуживание и амортизация станков и другого оборудования), считать прямыми производственными и при невозможности прямо отнести их на себестоимость отдельных видов ремонта, распределять не по заработной плате (как это осуществляется сейчас), а по часам работы, стоимости оборудования или другим объемным показателям. Существующая организация ремонтного производства позволяет это сделать, так как специализация цехов по видам ремонта определяет и специализацию оборудования. В качестве примера можно привести расходы по содержанию, обслуживанию и амортизации оборудования цеха по ремонту мотор-вагонного подвижного состава, которые не следует распределять на все виды ремонта (что происходит при традиционной системе калькуляции себестоимости), а сразу отнести на себестоимость ремонта пассажирских секций.

Рассматривая действующие в последние годы Номенклатуры расходов можно отметить, что менялся и состав работ, и принципы группировки затрат.

Номенклатуры, действующие до 2003 года, включали в себя два основных раздела «Основная деятельность» и «Подсобно-вспомогательная деятельность». К основной относились работы, непосредственно, связанные с обеспечением перевозочного процесса, к подсобно-вспомогательной – обслуживание его (выполнение погрузо-разгрузочных работ, капитальный ремонт пути, выполнение работ для сторонних предприятий, работа локомотивов на подъездных путях и др.).

Группировка затрат осуществлялась в разрезе отраслевых хозяйств, внутри которых выделялись основные специфические расходы (присущие только данному хозяйству), основные общие (имеющиеся во всех хозяйствах) и общехозяйственные (расходы по управлению и обслуживанию перевозочного процесса).

Номенклатура расходов, введенная в действие в 2003 году с образованием компании ОАО «РЖД» сделала первые шаги для применения функционального подхода. В ней группировка осуществлялась в разрезе видов деятельности, а также было введено понятие мест возникновения затрат. Основными видами деятельности считались:

- грузовые перевозки;
- содержание инфраструктуры;
- локомотивная тяга;
- пассажирские перевозки в дальнем следовании,
- пассажирские перевозки в пригородном сообщении,
- ремонт подвижного состава.

Все, что касалось услуг сторонним потребителям, объединялось в понятие «прочие виды деятельности».

С 2008 года на предприятиях железнодорожного транспорта действует новый документ, который называется Номенклатура доходов и расходов по видам деятельности ОАО «РЖД», в составе которого существует раздел Классификатор расходов. По сравнению с предыдущей редакцией, данный документ предусматривает четырехуровневую группировку статей. На первом уровне затраты разделяют по отношению к производственному процессу – прямые производственные расходы, общепроизводственные, общехозяйственные, прочие, текущий налог на прибыль и расходы по уплате штрафных санкций. Остальные три уровня группировки применяются только для специфических (прямых производственных затрат) и определяют укрупненные виды работ (УВР) или виды деятельности, затем отраслевые хозяйства, в заключении виды подвижного состава для укрупненных видов работ «Локомотивная тяга» и «Ремонт подвижного состава. Новый документ вводит понятие «статей функций» и «статей-ресурсов». Параллельно с Номенклатурой был принят новый порядок разделения накладных расходов. Сделана попытка применения множественной базы распределения. Так, часть общепроизводственных и общехозяйственных расходов распределяется, как и ранее пропорционально фонду оплаты труда производственного персонала, а часть распределяется пропорционально прямым материальным затратам.

Однако, по мнению автора, в составе указанных статей есть затраты, непосредственно, связанные с производственным процессом структурных подразделений и целесообразнее было использовать в качестве базы распределения натуральные измерители объема работы.

Параллельно с последней редакцией Номенклатуры был введен в действие новый порядок распределения расходов между видами деятельности. В большей степени это коснулось консолидации накладных расходов. Ранее указанные затраты учитывались и распре-

делялись по отдельным структурным подразделениям, а для уровня дороги отчетная форма расходов составлялась простым суммированием. В настоящем, общепроизводственные и общехозяйственные расходы структурных подразделений суммируются на дорожном уровне, а затем распределяются по видам деятельности (статьям прямых производственных расходов). То есть происходит переход от традиционной системы распределения косвенных расходов (по подразделениям) к функциональной (по видам деятельности).

Таким образом, можно отметить, что дальнейшее совершенствование систем учета расходов и расчета себестоимости продукции, основанного на функциональной системе калькуляции является необходимым, а также остается актуальным вопрос научно-обоснованного выбора фактора издержек.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сно, К.К. Управленческая экономика / К.К. Сно. -М., 2000.
- 2 Номенклатура расходов основных видов хозяйственной деятельности железнодорожного транспорта. -М., 2008.
- 3 Друри, К. Управленческий учет для бизнес-решений / К. Друри. -М., 2003. -645 с.
- 4 Экономика железнодорожного транспорта / под ред. Н.П. Терешинной, Б.М. Лapidуса, М.Ф. Трихункова. -М., 2006.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *себестоимость железнодорожных перевозок, функциональная калькуляция, номенклатура расходов, прямые и косвенные затраты*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Северова Марина Олеговна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»*

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

### **ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОЕ ПАРТНЕРСТВО В УПРАВЛЕНИИ ОРГАНИЗАЦИЕЙ ПАССАЖИРСКИХ АВИАПЕРЕВОЗОК НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**В.В. Журавлев**

#### **STATE-PRIVATE PARTNERSHIP IN MANAGEMENT OF THE ORGANIZATION OF PASSENGER AVIATRANSPORTATIONS AT REGIONAL LEVEL**

«Siberian state university of transport»

V.V. Zhuravlev

On an example Hunts-Mansijskogo of autonomous region the state-private partnership in steering of the organisation of passenger air transportation at regional level is resulted.

На примере Ханты-Мансийского автономного округа приведено государственно-частное партнерство в управлении организацией пассажирских авиаперевозок на региональном уровне.

Перспектива магистрального развития авиа перевозок ХМАО состоит в *создании трех авиационных узлов на базе крупнейших воздушных портов округа – городов Сургута, Нижневартовска и Ханты-Мансийска*. Через них должны пройти все основные авиалинии, связывающие территорию региона, как со всей Россией, так и со странами ближнего и дальнего зарубежья.

*Разработка оптимальной схемы организации, функционирования комплекса гражданской авиации Ханты-Мансийского Округа и повышения его эффективности*. Данная цель может быть достигнута при совместном, государственно- частном регулировании данного вида деятельности округа путем перенесения пассажирских авиарейсов на магистральных направлениях из нескольких небольших аэропортов и концентрации пассажиропотоков в «узловых» аэропортах.

*Основные критерии организации государственно-частного партнерства – снижение себестоимости перевозки одного пассажира; повышение прибыльности (снижение убыточности) основной деятельности аэропортов*.

В основу предлагаемой программы (модели) развития комплекса гражданской авиации Округа положен широко применяемый на Западе принцип *построения «центрально-радиальных» схем авиамаршрутов (схема «спица-колесо»)*, при использовании которого, все отправки пассажиров по магистральных направлениям, производятся из узловых аэропортов, связанных со всеми другими аэропортами сетью местных воздушных линий. В результате реализации указанной схемы существующая сеть авиалиний существенным обра-

зом меняется. Эффективность реализации этой схемы в большой степени зависит от обоснованного выбора центральных узловых аэропортов, из которых выполняются магистральные рейсы. Выбор этих узлов зависит от ряда факторов: географического местоположения аэропорта, транспортной инфраструктуры (обеспеченность «узла» другими видами транспорта), административного статуса базового для аэропорта населенного пункта, социально-экономических характеристик района базирования аэропорта.

Наряду с указанными факторами главным является величина транспортных затрат на доставку пассажиров и грузов по маршрутам «обод–центр» или по «спицам» по западной терминологии. В качестве критерия, определяющего выбор центрального «узла» (или «узлов»), следует выбирать минимум суммарных пассажиро- и грузопотоков по направления «обод–центр». В качестве единицы измерения этих потоков можно использовать пассажиро·км или ткм.

Предполагается, что все заложенные в программу проекты будут финансироваться главным образом из средств самого субъекта Федерации. Исключение составляет ФГУП «Нижневартовское авиапредприятие», находящееся в федеральной собственности.

Автором предлагается следующая методика определения центрального «узла» (или «узлов»):

- Определение «центра тяжести», рассматриваемого транспортного района.
- Выбор аэропорта или аэропортов, географически наиболее близких к «центру тяжести».

В случае выбора двух и более центральных «узлов», прикрепление к ним периферийных аэропортов на основе решения «транспортной задачи» методами линейного программирования.

В силу географического положения аэропортов ХМАО их можно разделить на две группы:

- западную (Белоярский, Березово, Нягань, Советский, Урай, Ханты-Мансийск);
- восточную (Когалым, Нефтеюганск, Нижневартовск, Радужный, Сургут).

Определение центральных «узлов» Восточной части Округа достаточно очевидно и не требует расчетов. Это аэропорты Нижневартовск и Сургут. Выбор этих аэропортов обоснован, в первую очередь, их мощностью – это самые крупные аэропорты ХМАО, перевозящие более 56% всех пассажиров. Перенос магистральных авиалиний из этих аэропортов экономически неоправдан.

В качестве отсчетного (весового) показателя принято количество пассажиров на региональных авиалиниях перевезенных за 2000 г. В качестве географических координат аэропортов возьмем условные значения координат «X» и «Y» (расстояния в мм по крупномасштабной карте). Центр системы отсчета (0;0) поместим в административный центр ХМАО – г. Ханты-Мансийск. Исходные параметры для расчета «центра тяжести» приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение объемов работы аэропортов по удельным весам

Аэропорт	Количество пассажиров, чел	X, усл. ед.	Y, усл. ед.
Х-Мансийск	39846	0	0
Белоярский	14186	22	45
Березово	17938	35	48
Нягань	5180	32	18
Советский	4534	48	4
Урай	2606	38	-17

Экспериментальные расчеты производим по формулам:

$$X_{ум} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n G_i}, \quad Y_{ум} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n G_i}, \quad (1)$$

где  $G_i$  – весовой показатель аэропорта (количество пассажиров);

$X_i, Y_i$  – условные географические координаты аэропорта,

$$X_{ум} = \frac{1422342}{84290} = 17 \text{ усл. ед.}; \quad Y_{ум} = \frac{1566468}{84290} = 19 \text{ усл. ед.}$$

Определения дальности полетов (расстояния), в условных единицах, от аэропортов ЗРО до транспортного «центра тяжести» района обслуживания по формуле

$$L_{i-um} = \sqrt{(X_i - X_{um})^2 + (Y_i - Y_{um})^2}, \quad (2)$$

и представим их в таблице 2.

*Таблица 2 – Границы обслуживания исследуемых объектов*

Аэропорты	Расстояние от аэропорта до «центра тяжести», $L_{i-um}$ , усл. ед.
Х-Мансийск	25
Белоярский	26
Березово	34
Нягань	15
Советский	34
Урай	42

Суммарные годовые региональные пассажиропотоки до расчетного «центра тяжести» района обслуживания составят 2316186 пассажиро-усл.ед. Эта величина составляет теоретически возможный минимум региональных пассажиропотоков и может служить ориентиром для оценки реальных вариантов.

Условно принимая, что число пассажиров прямо пропорционально общему числу жителей, тяготеющих к данному аэропорту, выполним подобные расчеты координат «центра тяжести», взяв в качестве весовой характеристики аэропорта общее число жителей. Переход к такому весовому показателю допустим, если считать транспортную подвижность населения величиной одинаковой для всех рассматриваемых городов-аэропортов. Такой подход позволяет исключить влияние случайных отклонений пассажиропотоков и более точно оценить транспортную ситуацию региона в перспективе.

Для обоснования прикрепления периферийных аэропортов к центральным узлам решаем поставленную транспортную задачу методом линейного программирования.

Сформулируем ее следующим образом.

Имеются два центральных аэропорта, в которых консолидируются магистральные пассажиропотоки, и четыре периферийных аэропорта, пассажиры которых местными авиалиниями доставляются в центральные аэропорты, а уже из них вылетают по магистральным линиям. Постановка транспортной задачи заключается в определении плана перевозок, при котором обеспечивается минимальное значение целевой функции

$$C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min,$$

где  $m$  – число центральных аэропортов;

$n$  – число периферийных аэропортов;

$C_{ij}$  – тариф на перевозку одного пассажира от  $j$ -го периферийного аэропорта до  $i$ -го центрального аэропорта;

$X_{ij}$  – количество пассажиров на маршруте  $j$ -ый периферийный аэропорт –  $i$ -ый центральный аэропорт.

Обозначим для удобства вычислений Ханты-Мансийск номером 1, Нягань – 2. Урай, Советский, Березово и Белоярский соответственно – 1,2,3 и 4. В качестве планируемого пассажиропотока примем полученные значения барьерного пассажиропотока необходимого для достижения безубыточности, увеличенные на 30%.

Условный тариф определим по формуле

$$C_{ij} = P_0 + V \cdot I_{ij},$$

где  $P_0$  – условно-постоянная часть тарифа;

$V$  – условно-переменная часть тарифа;

$I_{ij}$  – расстояние в условных единицах.

Считая, что условно-постоянная часть тарифа составляет для самого дальнего авиамаршрута Ханты-Мансийск – Березово примерно половину общей стоимости перевозки, и приняв для упрощения, что тариф  $C_{13} = 10$  усл. ден. ед. вычислим значения  $P_0$  и  $V$  (при  $I_{13} = 60$  усл. ед.). Получив значения  $P_0 = 5$  и  $V = 0,08$  вычислим условные тарифы  $C_{ij}$  для остальных маршрутов (таблица 3)

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Таблица 3 – Расчетные данные для решения транспортной задачи

Центральный аэропорт	Периферийный аэропорт							
	1 Урай		2 Советский		3 Березово		4 Белоярский	
	$I_{ij}$	$C_{ij}$	$I_{ij}$	$C_{ij}$	$I_{ij}$	$C_{ij}$	$I_{ij}$	$C_{ij}$
1 Ханты-Мансийск	41	8,3	48	8,8	60	10	51	9,1
2 Нягань	35	7,8	21	6,7	31	7,5	29	7,3

Путем последовательной оптимизации получим оптимальный транспортный план, при котором суммарные затраты на перевозку пассажиров минимальны (таблица 4).

Таблица 4 – Оптимизация транспортного плана (в углах столбцов указаны тарифы в усл. ед.)

Центральный аэропорт	Периферийный аэропорт				Пассажиропоток, тыс. человек
	1	2	3	4	
1 Ханты-Мансийск	8,3	8,8	10,0	9,1	32,6
2 Нягань	7,8	6,7	7,5	7,3	22,1
Пассажиропоток, тыс. человек	18,6	7,7	15,9	12,5	54,7

Решенная транспортная задача, представленная в таблице 4, является сбалансированной, то есть суммарный пассажиропоток центральных аэропортов равен суммарному пассажиропотоку периферийных аэропортов. Естественно, мощность центральных аэропортов не исчерпывается приемом самолетов внутренних линий, но в данной задаче мы рассматриваем только внутренние потоки и не учитываем магистральные.

Начальный транспортный план (см. таблицу 4) получим методом «северо-западного угла»

Таблица 5 – Распределение суммарных затрат

Центральный аэропорт	Периферийный аэропорт				Пассажиропоток, тыс. человек
	1 ( $\beta_1 = 8,3$ )	2 ( $\beta_2 = 8,8$ )	3 ( $\beta_3 = 10,0$ )	4 ( $\beta_4 = 9,8$ )	
1 $\alpha_1 = 0$	8,3	8,8	10,0	9,1	32,6
	18,6	7,7	6,3 –	+	
2 $\alpha_2 = 2,5$	7,8	6,7	7,5	7,3	22,1
			9,6 +	12,5 –	
Пассажиропоток, тыс. человек	18,6	7,7	15,9	12,5	54,7

Суммарные затраты на перевозку для этого плана

$$C_1 = 18,6 \cdot 8,3 + 7,7 \cdot 8,8 + 6,3 \cdot 10,0 + 9,6 \cdot 7,5 + 12,5 \cdot 7,3 = 448,39 \text{ усл. ден. ед.}$$

Проверим решение на оптимальность определив потенциалы для центральных ( $\alpha$ ) и периферийных ( $\beta$ ) аэропортов. Потенциалы определим, решая следующую систему уравнений:

$$\alpha_i + \beta_j = C_{ij}; \alpha_1 = 0; \alpha_1 + \beta_1 = 8,3, \beta_2 = 8,3; \alpha_1 + \beta_2 = 8,8, \beta_2 = 8,8;$$

$$\alpha_1 + \beta_3 = 10,0, \beta_3 = 10,0; \alpha_2 + \beta_3 = 7,5, \beta_3 = -2,5; \alpha_2 + \beta_4 = 7,3, \beta_4 = 9,8.$$

Вычислим оценки свободных клеток:

$$\delta_{ij} = \alpha_i + \beta_j - C_{ij}; \delta_{14} = 0 + 9,8 - 9,1 = 0,7; \delta_{21} = -2,5 + 8,3 - 7,8 = -2,0; \delta_{22} = -2,5 + 8,8 - 6,7 = -0,4.$$

$\delta_{14} > 0$  значит, план не оптимален, и его можно улучшить. Построим перераспределение относительно свободной клетки (1;4) и получим новый план (таблица 6)

Таблица 6 – оптимизация затрат на перевозку

Центральный аэропорт	Периферийный аэропорт				Пассажиропоток, тыс. человек
	1 $\beta_1 = 8,3$	2 $\beta_2 = 8,8$	3 $\beta_3 = 9,3$	4 $\beta_4 = 9,1$	
1 $\alpha_1 = 0$	8,3	8,8	10,0	9,1	32,6
	18,6	7,7	–	+	
2 $\alpha_2 = -1,8$	7,8	6,7	7,5	7,3	22,1
		+	← 15,9	–	
Пассажиропоток, тыс. человек	18,6	7,7	15,9	12,5	54,7

Суммарные затраты на перевозку для реализации второго плана

$$C_2 = 18,6 \cdot 8,3 + 7,7 \cdot 8,8 + 6,3 \cdot 9,1 + 15,9 \cdot 7,5 + 6,2 \cdot 7,3 = 443,98 \text{ усл. ден.ед.,}$$

или  $C_2 = C_1 - X_{14} \cdot \delta_4 = 448,39 - 6,3 \cdot 0,7 = 443,98 \text{ усл. ден. ед.}$

– значение целевой функции уменьшилось.

Проверим решение на оптимальность по алгоритму, приведенному выше, и получим оценки свободных клеток для второго плана

$$\delta_{13} = 0 + 9,3 - 10,0 = -0,7; \delta_{21} = -1,8 + 8,3 - 7,8 = -1,3; \delta_{22} = -1,8 + 8,8 - 6,7 = 0,3.$$

Имеется свободная клетка с положительной оценкой значит план неоптимален и возможно его улучшение. Построим перераспределение относительно свободной клетки (2;2) и получим новый тарифный план.

Предлагаемая методика подтвердила обоснованность достаточно очевидного, для случая Ханты-Мансийского автономного округа, выбора в качестве осевых аэропортов Ханты-Мансийска и Нягани. В тоже время, предложенная методика определения центральных узлов транспортного полигона, может быть достаточно эффективно использован для экономически обоснованного выбора этих узлов при большом числе аэропортов.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* пассажирские авиаперевозки

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* В.В. Журавлев, соискатель ГОУ ВПО «СГУПС»

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

## **ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ НЕПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫМИ ЗАТРАТАМИ ПО ЦЕНТРАМ ОТВЕТСТВЕННОСТИ**

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

**Т.А. Лунина, Л.Н. Аршба**

### **ECONOMIC INSTRUMENTS OF UNPRODUCTIVE COSTS MANAGEMENT ACCORDING TO ACCOUNTABILITY CENTRES**

**«Siberian state university of transport»**

T.A. Lunina, L.N. Arshba

The analysis of costs attributed to unproductive working time losses by locomotive crews has been carried out and the system of costs reimbursement by accountability centers has been offered.

Проведен анализ затрат, связанных с непроизводительными потерями рабочего времени локомотивных бригад и предложена система возмещения этих затрат по центрам ответственности.

При переходе к новой модели хозяйствования железнодорожного транспорта, его территориально-функциональная система управления преобразована по видам деятельности с созданием и реорганизацией соответствующих структурных подразделений, филиалов и дочерних зависимых обществ. В настоящее время в регионе железной дороги работают, выделенные из ее состава, дирекции по ремонту пути, ремонту вагонов, обслуживанию пассажиров и др. Вопросы взаимодействия филиалов по возмещению непроизводительных потерь достаточно не простые. Проблема заключается в том, что на уровне дороги – филиала ОАО «РЖД» зачастую можно только выявить непроизводительные потери времени, определить виновных и оценить затраты, с ними связанные, однако возместить возможно лишь часть указанных затрат, по причине отсутствия возможности предъявления непроизводительных потерь допущенных по вине структурных подразделений смежных дорог и дирекций.

Особенно это актуально для локомотивного хозяйства, где непроизводительные затраты локомотивных бригад составляют до 25% рабочего времени, а зависят они не только от некачественного их труда, но и от результатов работы предприятий путевого хозяйства, сигнализации и связи, энергетики, от качества организации движения и т.п. Кроме того, существующая система организации труда бригад предполагает вождение поездов по так называемым «длинным плечам», то есть зачастую в пределах нескольких дорог. Затраты же несет только дорога приписки.

Поэтому необходимо создание системы управления затратами, связанными с непроизводительными потерями рабочего времени локомотивных бригад, предполагающей их возмещение всеми причастными лицами и организациями.

Целевым состоянием методики управления затратами, связанными с непроизводительными потерями рабочего времени локомотивных бригад, должно стать введение учета при-

чин простоев и персонифицированной материальной ответственности виновных по всем операциям технологического процесса, в рамках того или иного вида производственной деятельности.

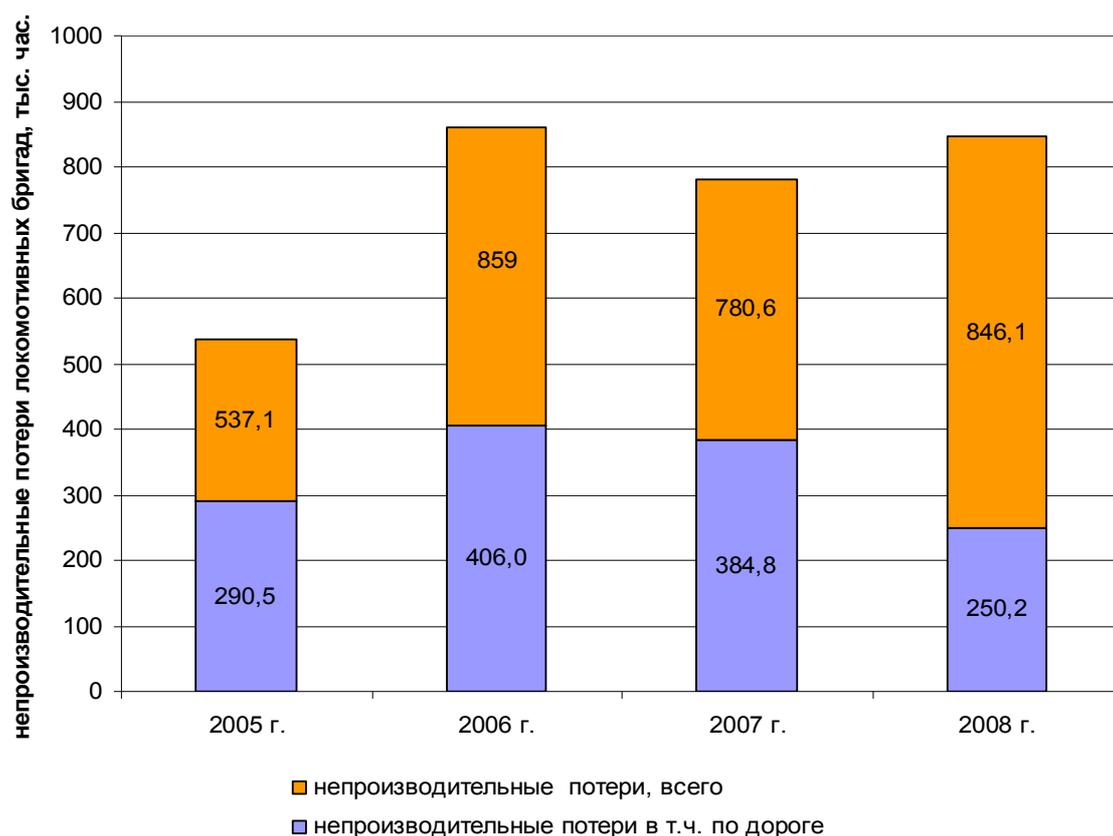
Нерациональное использование рабочего времени локомотивных бригад на дороге – филиале ОАО «РЖД» приводит к образованию сверхурочной работы, что в свою очередь влечёт за собой увеличение эксплуатационных расходов, связанных с их оплатой.

На Западно-Сибирской железной дороге выделены 16 видов непроизводительных потерь, которые можно разбить на три основные группы:

- простои локомотивных бригад, как правило, связанные с нарушениями технологического процесса;
- потери времени следования локомотивных бригад пассажиром;
- время «переотдыха» локомотивных бригад в пункте оборота.

В структуре непроизводительных потерь основную долю составляет время следования локомотивных бригад пассажиром – 46,8%. Простои локомотивных бригад составляют в 2008 году 41,6%, среди которых выделяются задержки поездов на участке по причине нарушения технологии перевозочного процесса – 17,9%. Однако результаты анализа структуры непроизводительных потерь, понесённых в рамках границ Западно-Сибирской дороги, несколько иные. Основную долю потерь на дороге составляют простои локомотивных бригад – 53,9%, а время следования локомотивных бригад пассажиром – 26,9%.

Структура потерь по годам существенно не менялась, чего нельзя сказать о динамике потерь рабочего времени за 2005-2008 годы (рисунок 1).



*Рисунок 1 – Динамика потерь рабочего времени всего и в том числе в границах компетенции Западно-Сибирской железной дороги*

Непроизводительные потери в целом возросли за рассматриваемый период на 68%, из которых рост на 52% произошел ещё в 2006 году.

Совсем другая ситуация сложилась в отношении непроизводительных потерь в пределах дороги. Увеличившись в 2006 году на 40%, и имея тенденцию к снижению в 2007 году, к концу 2008 года они снизились даже ниже уровня 2005 года на 14%. На рисунке 1 отчетливо виден разрыв в динамике потерь рабочего времени всего и в том числе в границах компетенции Западно-Сибирской железной дороги.

Снижение непроизводительных потерь рабочего времени локомотивных бригад на до-

роге связано с введением в действие 28.04.2004 г. приказа №43-Н «О порядке учёта и организации профилактической работы по исключению случаев нерационального использования рабочего времени локомотивных бригад», который явился нормативной основой формирования системы управления этими затратами. Принятые меры по своевременному учету, расследованию случаев непроизводительного использования рабочего времени локомотивных бригад после определения материального ущерба и возмещения его за счёт виновных лиц, явились явным стимулом к их снижению.

Существенно меняется структура расходов по подразделениям дороги. Например, в 2007 году наибольший удельный вес в структуре расходов, связанных с непроизводительными потерями локомотивных бригад и предъявленных виновным, имеет Дирекция пути – 36%. В 2008 году ее доля составила уже 1,8%. Такое положение сложилось не вследствие улучшения работы, а из-за вывода Дирекции пути из зоны компетенции Западно-Сибирской железной дороги.

Как следствие из выше сказанного, на дороге за 2008 год непроизводительные потери, подлежащие компенсации, составили 250,5 тыс. ч из допущенных потерь, что на 14% меньше чем в предыдущем году.

Но если расходы, связанные с непроизводительными потерями, возникшими по вине структурных подразделений Западно-Сибирской железной дороги, возмещаются почти в полном объёме, то возникшие по вине других дорог и организаций не возмещаются вообще, но активно возрастают.

Основными внешними виновниками возникновения непроизводительных потерь и расходов, с ними связанных, являются смежные железные дороги – филиалы ОАО «РЖД»: Свердловская, Красноярская, Южно-Уральская. Наибольший удельный вес по рассматриваемому показателю занимает Свердловская железная дорога, причем наблюдается снижение динамики доли расходов с 68,4% в 2005 году до 54,1% в 2008 году. Удельный вес расходов по вине Красноярской железной дороги остаётся постоянным в 2007-2008 года на уровне 19,7% в общем объёме. А вот доля расходов по вине Южно-Уральской дороги ежегодно растет: с 5,3% в 2005 году до 17,9% в 2008 году. Следует также отметить появление в 2008 году новой организации, по вине которой возникли расходы, доля которых составила 5,7% – это «Первая грузовая компания». Именно на все эти предприятия необходимо распространить механизм возмещения затрат в первую очередь.

Для решения поставленных проблем предложено внедрение системы управления затратами, связанными с непроизводительными потерями рабочего времени локомотивных бригад, которая включает в себя процессы, представленные на рисунке 2



Рисунок 2 – Внедрение системы управления затратами

Для выявления причин нерационального использования рабочего времени локомотивных бригад необходимо создание механизма управления сбором и анализом информации о потерях, связанных с непроизводительными потерями рабочего времени локомотивных бригад, который обеспечит получение всех данных для составления реальной картины распределения этих потерь.

Учет и контроль нерационального использования рабочего времени локомотивных бригад следует начать с разработки единого классификатора нарушений режима труда и отдыха локомотивных бригад.

Составление внутренних инструкций и ответственность за сбор, обработку и учет информации о потерях, связанных с нерациональным использованием рабочего времени должны быть закреплены за подразделениями, по вине которых образуются эти потери.

Поскольку затраты, связанные с непроизводительными потерями, могут вызываться выполнением различных функций или работой различных подразделения дороги, нужны подходящие внутренние методики их оценки.

Базой для расчета предъявляемых расходов, связанных с непроизводительными потерями рабочего времени локомотивных бригад, являются тарифные ставки машиниста и помощника машиниста. Исходя из тарифной ставки машиниста и помощника машиниста локомотива, рассчитывается стоимость одного часа работы локомотивной бригады и умножается на количество предъявленных непроизводительных часов работы.

Поскольку объемы потерь и на дороге в целом, и в отдельных структурных подразделениях колеблются во времени, реальные изменения затрат, связанных с ними, целесообразно оценивать через величину возмещения затрат, отнесенную к выявленным затратам.

Для закрепления личной материальной ответственности в службах, отделениях, структурных подразделениях дороги необходимо внести изменения в существующие положения о премировании работников, влияющих на использование рабочего времени локомотивных бригад, с учётом перечня показателей снижения премии. Фрагмент такого положения, разработанного на дороге представлен в таблице.

При наличии показателей, приведенных в перечне, премия за основные результаты работы работникам, влияющим на использование рабочего времени локомотивных бригад, снижается до 50%. При отрицательной динамике этих показателей к аналогичному периоду прошлого года премия за основные результаты работы не выплачивается.

*Таблица – Перечень показателей снижения премии дежурного по локомотивному депо за нерациональное использование рабочего времени локомотивных бригад*

Показатель	Снижения премии по показателям, %
Необеспечение своевременной постановки локомотивов на плановые виды ремонта	15
Невыполнение норм простоя локомотивов на ТО-2	15
Рост часов оплачиваемого отдыха в комнатах отдыха	10
Невыполнение норм времени от явки до КП и от КП до сдачи	10
Всего:	50

Корректировка планов по труду и эксплуатационных расходов подразделениям, виновным в нерациональном использовании рабочего времени локомотивных бригад, производится согласно решению комиссии. Часть расходов локомотивных депо, вызванных неправильными действиями причастных структурных подразделений, в планах компенсируется.

Таким образом, внедрение системы управления затратами, связанными с непроизводительными потерями рабочего времени, позволит повысить ответственность всех участников процесса перевозки за организацию труда локомотивных бригад, компенсировать структурным подразделениям перерасход заработной платы, и в конечном итоге, сократить эксплуатационные расходы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *потери рабочего времени*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Лунина Татьяна Аркадьевна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»  
Аршба Людмила Николаевна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»*

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

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

А.А. Шпиганович, В.А. Шилова

ESTIMATION OF EFFICIENCY OF INVESTMENT PROJECTS IN THE ENTERPRISES OF AN ELECTROPOWER COMPLEX

«Lipetsk state technical university»

A.A. Shpiganovich, V.A. Shilova

Financial methods of an estimation of efficiency of real investment projects for realization of capital investments on sector of economic development in the electric power industry enterprises are considered.

Рассмотрены финансовые методы оценки эффективности реальных инвестиционных проектов для реализации капитальных вложений по сектору экономического развития в предприятиях электроэнергетики.

Наиболее важный этап в процессах принятия инвестиционных решений в секторе электроэнергетического производства – оценка эффективности реальных инвестиций – капиталовложений. От правильности и объективности данной оценки зависят сроки возврата вложенного капитала и перспективы развития предприятия. Поэтому следует определить перспективные принципы, используемые в международной практике.

Первым из таких принципов является оценка возврата вложенного капитала на основе показателя денежного потока, формируемого за счет прибыли и амортизационных отчислений в процессе эксплуатации инвестиционного проекта. Показатель денежного потока может применяться для оценки с дифференциацией по отдельным годам или как среднегодовой. Вторым является обязательное приведение к настоящей стоимости, как вложенного капитала, так и величины денежных потоков. Процесс инвестирования на предприятиях электроэнергетического осуществляется не одномоментно. Он проходит ряд этапов, что находит отражение в бизнес-плане проекта. Аналогично приводится сумма денежного потока (по отдельным этапам формирования). Третьим принципом оценки является выбор дифференцированного проекта в процессе дисконтирования денежного потока (приведения к настоящей стоимости) для инвестиционных проектов. При этом размер дохода от инвестиций образуется при учетах следующих факторов: средней реальной дисконтной ставки; темпа инфляции – инфляционной премии; премии за низкую ликвидность инвестиций и за риски.

С учетом этих факторов при сравнении проектов с различными уровнями риска при дисконтировании применяются разные ставки процента. Более высокая обычно дается для проектов с высоким уровнем риска или длительным сроком реализации. Четвертый принцип оценки заключается в выборе различных вариантов форм используемой ставки процента для дисконтирования, исходя из целей оценки. Для определения различных показателей эффективности проекта в качестве дисконтной ставки выбираются следующие показатели: средняя депозитная или кредитная ставка; норма прибыльности (доходности) инвестиций с учетом инфляции, уровня риска и ликвидности инвестиций; норма доходности по государственным ценным бумагам; альтернативная норма доходности по аналогичным проектам и текущей доходности предприятия.

Для финансовой оценки эффективности реальных инвестиций проектов в предприятиях электроэнергетики используются: метод простой (бухгалтерской) нормы прибыли; метод расчета чистой текущей стоимости (ЧТС) проекта; индекс доходности; период (срок) окупаемости. Рассмотрим это наиболее подробно. Метод простой (бухгалтерской) нормы прибыли заключается в том, что расчет ведется по отношениям суммы прибыли отчетов предприятия к исходным инвестициям (капиталовложениям). Используется чистая прибыль (после налогообложения), к которой добавляется сумма амортизационных отчислений

$$П_{пр} = \frac{ЧП + А}{И} 100, \quad (1)$$

где  $П_{пр}$  – простая (бухгалтерская) норма прибыли, %;

$ЧП$  – чистая прибыль, оставшаяся в распоряжении после налогообложения;

$А$  – амортизационные отчисления по основным средствам;

$И$  – исходные инвестиции для проекта.

В результате и выбирается проект с наибольшей простой нормой прибыли (таблица 1).

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Достоинством данного метода является его простота и надежность для проектов, реализуемых в течение года. Игнорируются: скрытый характер затрат (амортизационных отчислений); доходы от ликвидности прежних активов; возможности реинвестирования и временная стоимость денег, невозможность оценивать предпочтительность одного из проектов, имеющих одинаковую простую норму прибыли, но различные объемы инвестиций.

Таблица 1 – Расчет рентабельности инвестиционного проекта (млн. руб.)

Показатели	Величина
Расчет простой (бухгалтерской) прибыли	
Доходы от проекта	9000
Инвестиционные затраты на проект, в том числе:	6750
– денежные расходы	4500
– амортизационные отчисления	2250
Прибыль от проекта	2250
Налог на прибыль по ставке 30%	675
Чистая прибыль от проекта	1575
Расчет на основе движения денежных потоков от проекта	
Доходы от проекта	9000
Инвестиционные затраты на проект, в том числе:	5175
– денежные расходы	4500
– налог на прибыль	675
Чистый денежный поток от проекта	3825
Рентабельность по чистому денежному потоку, %	73,9

Метод чистой текущей стоимости (ЧТС) проекта ориентирован на достижение главной цели инвестиционного менеджмента – увеличении доходов акционеров (собственников). ЧТС позволяет получить наиболее обобщенную характеристику результата инвестирования (конечный эффект в абсолютном выражении). Это прибыль от проекта, приведенная к настоящей стоимости (НС). Проект принимается к рассмотрению, если ЧТС положительна. Он и сгенерирует большую, чем средневзвешенная стоимость капитала, норму прибыли. Инвесторы (кредиторы) удовлетворены, когда подтвердится рост курса акций акционерной электросетевой компании, которая успешно реализовала инвестиционный проект.

ЧТС выражает разницу между приведенными к настоящей стоимости суммой денежных потоков за период эксплуатации проекта и суммой инвестируемых в его реализацию денежных средств

$$ЧТС = НС - И, \quad (2)$$

где ЧТС – чистая текущая стоимость проекта;

НС – настоящая стоимость потока финансирования за период эксплуатации инвестиционного проекта;

И – сумма инвестиций (капиталовложений) на реализацию.

При расчетах ЧТС дисконтная ставка дифференцируется с учетом риска и ликвидности инвестиций. Для наглядности приведем пример по определению чистой текущей стоимости, потенциально реализуемых в рамках федеральной целевой программы секции «Энергетика и энергосбережение» ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития НТК России на 2007-2012 годы». Пусть для рассмотрения представлены бизнес-планы двух инвестиционных проектов, параметры которых указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные по двум инвестиционным проектам

Показатели инвестиционных решений	Проект «А»	Проект «В»
Объем инвестируемых средств, млн. руб.	28,0	26,8
Период эксплуатации проектов, лет	3	4
Сумма денежного потока (доход), млн. руб.	40,0	44,0
Денежный поток по годам, млн. руб.	I год	8,0
	II год	12,0
	III год	12,0
	IV год	12,0
Дисконтная ставка, %	10	12
Среднегодовой темп инфляции, %	7	7

Расчет настоящей стоимости (НС) денежных потоков реализован в соответствии с таблицей 3.

*Таблица 3 – Расчет НС инвестиционных проектов (млн. руб.)*

Проект	Показатель	I год	II год	III год	IV год	Всего
«А»	Будущая стоимость потоков	24	12	4	–	40
	Дисконтный множитель (ставка 10%)	0,909	0,826	0,752	–	–
	Настоящая стоимость (НС)	21,82	9,91	3,08	–	34,81
«В»	Будущая стоимость потоков	8	12	12	12	44
	Дисконтный множитель (ставка 10%)	0,893	0,797	0,712	0,636	–
	Настоящая стоимость (НС)	7,14	9,56	8,54	7,63	32,87

Расчет коэффициента дисконтирования согласуется с выражением

$$K_0 = (1 + \Gamma)^{-t}, \quad (3)$$

где  $\Gamma$  – дисконтная ставка, о.е.;

$t$  – число периодов лет.

ЧТС по инвестиционным проектам «А» и «В» рассчитывается по (2):

$$ЧТС_A = 34,81 - 28,0 = 6,81 \text{ млн. руб.}; ЧТС_B = 32,87 - 26,8 = 6,07 \text{ млн. руб.}$$

Сравнение показателей ЧТС по проектам подтверждает, что проект «А» является более эффективным, чем проект «В». ЧТС в 1,12 раза выше, капитальные вложения для его реализации на 1,2 млн. руб. больше, чем по проекту «В». Вместе с тем отдача (в форме будущего денежного потока) по проекту «В» на 4 млн. руб. выше, чем по «А». При этом показатель ЧТС может быть использован в качестве критерия целесообразности реализации инвестиций. Проект, по которому ЧТС отрицателен или равен нулю, отвергается – он не принесет дополнительного дохода на первоначально вложенный капитал.

Индекс доходности (ИД) рассчитывается по формуле

$$ИД = \frac{НС}{И}, \quad (4)$$

где НС – объем денежных потоков в настоящей стоимости;

И – сумма инвестиций, направленных на реализацию проекта.

Определим индекс доходности по рассмотренным инвестиционным проектам. ИДА составил 1,24 и ИДВ 1,23. По этому критерию эффективность проектов примерно одинакова. Если значение индекса доходности меньше единицы или равно ей, то проект не принимается к рассмотрению, так как он не принесет инвестору дополнительного дохода, а банку не дает гарантии вложенных в него заемных средств.

Период окупаемости ( $T$ ) – один из наиболее распространенных методов оценки эффективности инвестиционных проектов

$$T = И / НС_t, \quad (5)$$

где И – сумма инвестиций на реализацию проекта;

НС – настоящая стоимость денежного потока в периоде  $t$ .

Используя данные по приведенным выше проектам, определим по ним период окупаемости  $T$ . Для этого нужно задать среднегодовую сумму денежного потока в настоящей стоимости. По проекту «А» она равна 11,6 млн. руб. (34,808:3); «В» – 8,2 млн. руб. Тогда период окупаемости составит соответственно 2,4 и 3,3 года. Это свидетельствует о серьезном преимуществе проекта «А». При сравнении данных проектов по показателям ЧТС и индексу доходности ИД эти преимущества были менее заметными. Показатель  $T$  может быть использован для оценки эффективности капиталовложений и уровня инвестиционного риска, связанного с ликвидностью. Чем длительнее период реализации проекта до полной его окупаемости, тем выше уровень инвестиционного риска. Однако, он не учитывает те денежные потоки, которые образуются после периода окупаемости капитальных вложений. Так, по проектам с длительным сроком окупаемости может быть получена более весомая сумма ЧТС, чем по проектам с коротким сроком эксплуатации.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** инвестиционные проекты, методы оценки, сектор электроэнергетики

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Шпиганович Алла Александровна, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»  
Шилова Вера Анатольевна, аспирант-соискатель, экономист ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ОПЛАТЫ ТРУДА РАБОТНИКОВ С УЧЕТОМ ПРЕОБЛАДАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ МОТИВАЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

**И.В. Розин**

**ORGANIZATION OF A PAYMENT OF WORKERS IN VIEW OF PREVAILING SYSTEM OF MOTIVATION AT THE ENTERPRISES OF THE COAL INDUSTRY**

«Novosibirsk state technical university»

I.V. Rozin

Is considered necessity of search of new principles, methodical approaches to an estimation of the organization of wages at the enterprises of the coal industry on the basis of diagnostics of prevailing system of motivation of their workers, definition of a level of competitiveness of the enterprise on a regional labour market with the purpose of achievement of long-term competitive advantage.

Рассматривается необходимость поиска новых принципов, методических подходов к оценке организации заработной платы на предприятиях угольной промышленности на основе диагностики преобладающей системы мотивации их работников, определения уровня конкурентоспособности предприятия на региональном рынке труда с целью достижения долгосрочного конкурентного преимущества.

Реформирование угольной промышленности России, направленное на переход от административно – командной системы управления хозяйством к рыночной модели функционирования и развития угледобывающего комплекса, определило необходимость повышения эффективности горного производства и конкурентоспособности угледобывающих предприятий.

В целях обеспечения энергетической безопасности в России к 2010 г. предусмотрено ввести в строй 42 МВт дополнительных энерго мощностей. В связи с увеличением потребностей в энергоресурсах в энергетической стратегии России предусматривается увеличение доли угля в производстве электроэнергии. Основным поставщиком энергетического угля являются угольные предприятия Кемеровской области. В соответствии с этим в Концепции стратегии социально-экономического развития Кемеровской области до 2025 г. предусмотрено довести уровень добычи угля со 174,3 млн. т в 2009 г. до 218 млн. т в 2015 г. и до 270 млн. т в 2025 г. Увеличение добычи энергетических углей предусматривается за счет увеличения действующих мощностей на 37,2 млн. т и строительства новых 24 шахт и 10 разрезов производственной мощностью до 32 млн. т.

В Концепции стратегии социально-экономического развития Кемеровской области предусматривается также развитие и других отраслей народного хозяйства. Для решения поставленных целей потребуются не только дополнительные крупные инвестиции (около 100 млрд. руб. в угольную промышленность), но и привлечение дополнительных высококвалифицированных трудовых ресурсов.

Для достижения поставленных целей, укрепления кадрового потенциала и привлечения работников на угольные предприятия необходим стабильный рост, финансовая устойчивость и развитие предприятий на угольном рынке, а это предприятию может дать только высококвалифицированный персонал способный быстро, грамотно и экономически целесообразно решать поставленные перед владельцами бизнеса задачи по стабильному функционированию предприятия на рынке.

Актуальность темы исследования вызвана необходимостью поиска новых принципов, методических подходов к оценке организации заработной платы на предприятиях угольной промышленности на основе диагностики преобладающей системы мотивации их работников. В связи с этим важное значение приобретает научная задача оценки экономической эффективности организации заработной платы персонала угледобывающего предприятия, мотивации и стимулировании его труда, определении уровня конкурентоспособности предприятия на региональном рынке труда с целью достижения долгосрочного конкурентного преимущества. Решение этой задачи возможно через совершенствование и внедрение новых подходов к формированию и функционированию систем и форм оплаты труда, модернизации производства, рациональное и экономически целесообразное использование финансовых ресурсов, инвестируемых в оплату труда персонала предприятия, привлечение на предприятие работников, заинтересованных в его развитии [1, 2]. Ведь стоимость реального

труда персонала на отечественных угледобывающих предприятиях сопоставима либо превышает стоимость труда персонала на аналогичных предприятиях в ведущих угледобывающих странах с развитыми рыночными отношениями, а уровень заработной платы существенно ниже.

В настоящий период времени необходимо обратить особое внимание на увеличение среднемесячной заработной платы трудящихся в угольной промышленности при одновременном росте производительности труда. Уровень среднемесячной заработной платы по сравнению с работниками угольной промышленности ведущих угледобывающих стран мира в России составляет 390-1300 \$ США или в 3,53-11,7 раз ниже аналогичных показателей зарубежных предприятий. По уровню производительности труда угольные предприятия Кузбасса значительно уступают ведущим угледобывающим странам мира. В целом по Кузбассу уровень производительности труда рабочих по добыче в 2008 г. составил 165,4 т угля в месяц, в том числе по шахтам 131,7 т/месяц, по разрезам 218,3 т/месяц, а ведущих угледобывающих стран – от 450 до 1955,8 т/месяц.

Сопоставление этих данных с показателями ведущих зарубежных угледобывающих предприятий и угольных отраслей свидетельствует как о низкой эффективности использования не только труда, но и затрат на оплату труда. Такое положение обусловлено не только уровнем механизации, применяемыми системами разработки и схемами вскрытия угольных пластов, концентрацией горных работ, но и практически полным отсутствием освещения в горно-экономической литературе методов, подходов по привлечению с рынка труда работников, мотивации квалифицированного и компетентного персонала, способного эффективно поддерживать достаточно высокий уровень использования горнотранспортного оборудования, принимать стратегические и оперативные управленческие решения в области организации производства, быстро, гибко и адекватно реагировать на изменения рынка. Вопросы привлечения с рынка труда работников нужных предприятию, эффективного управления затратами направляемыми на оплату труда, организации заработной платы на предприятиях угольной промышленности различной собственности в условиях функционирования рынка в настоящее время исследованы недостаточно и не получили должного освещения в экономической литературе. Вместе с тем, именно от решения этих вопросов зависит само понятие выживаемости и развития угледобывающего предприятия в современных условиях рынка. В рыночных условиях, когда предприятию приходится адаптироваться к постоянно меняющимся требованиям рынков товаров, ресурсов и труда, усилению давления конкуренции со стороны других участников рынка, определение своего места на рынке труда дает существенное конкурентное преимущество по привлечению трудовых ресурсов и принятию эффективных управленческих решений по укреплению кадрового потенциала.

Для организации оплаты труда работников угледобывающего предприятия целесообразно применять подход, основанный на принципе взаимоувязывания интересов работников и работодателя, отражающий существующее на предприятии положение в трудовых отношениях и включающий в себя оценку структуры интересов работников и работодателя.

Оценка структуры интересов работников и работодателя при трудовых отношениях заключается в том, что выделяются все виды выплат по заработной плате, формирующие фонд оплаты труда работников по производственным показателям. По данным выплатам собираются статистические данные за последние несколько лет, как правило, за последние 1-2 года, помесечно. Затем определяются: фонд оплаты труда работников за отработанный час на производстве помесечно, удельные затраты фонда оплаты труда в единице продукции помесечно и результаты сравниваются с предыдущим отчетным месяцем. Если происходит рост фонда оплаты труда работника за отработанный им час на производстве, то в этом есть интерес работника, если происходит снижение удельных затрат по фонду оплаты труда в ед. продукции, то это интерес работодателя. Если происходит одновременно рост фонда оплаты труда работника за отработанный им час на производстве и снижение удельных затрат по фонду оплаты труда в ед. продукции, то соблюдается интересы как работников так и работодателя. Если происходит одновременно снижение фонда оплаты труда работника за отработанный им час на производстве и рост удельных затрат по фонду оплаты труда в ед. продукции, то наблюдается дисбаланс интересов работников и работодателя.

Состояние трудовых отношений между работниками и работодателем определяется балансом либо дисбалансом интересов при трудовых отношениях. Дисбаланс заключается в том, что интерес одной из сторон (работодатель или работники) удовлетворяется за счет интереса

*Таблица – Зависимость количества, результата и оплаты труда персонала ремонтных участков ОАО «Междуречье»*

Участок	Зависимость	$R_1$
Автотракторный участок	$Y_1 = -0,0042X_1 + 164,06$	0,141
Участок ремонта подвижного состава	$Y_1 = 0,00272X_1 + 464,88$	0,488
Участок подъемно-транспортного оборудования	$Y_1 = 0,018X_1 + 569,34$	0,092
Ремонто-механические мастерские	$Y_1 = 0,0179X_1 + 516,43$	0,210
Автотракторный участок	$Y_1 = 0,0017X_2 + 141,08$	0,072
Участок ремонта подвижного состава	$Y_1 = 5,617X_2 + 1231,6$	0,272
Ремонто-механические мастерские	$Y_1 = 0,006X_2 + 611,78$	0,127
Участок ремонта подвижного состава	$Y_2 = -0,0004X_1 + 61,181$	0,165
Участок подъемно-транспортного оборудования	$Y_2 = -0,1213X_1 + 7131,6$	0,067
Ремонто-механические мастерские	$Y_2 = 0,3327X_1 + 20091$	0,183

другой стороны: выполняются требуемые производственные показатели – снижается фонд оплаты труда, требуемые производственные показатели подразделения недостижимы – имеет место повышение фонда оплаты труда. В результате из-за того, что каждая сторона удовлетворяет свой интерес за счет другой, имеет место снижение мотивации персонала. Связь между количеством, результатом и оплатой труда становится недостаточно тесной, или вообще прерывается, что несет за собой снижение мотивации персонала в достижении требуемых значений производственных показателей. Таким образом оценка затрат на оплату труда, на основе подхода по взаимоувязыванию интересов работников и работодателя при трудовых отношениях, позволяет устанавливать долю денежных средств расходуемых в нецелевом порядке (область дисбаланса) и определять направление снижения данной доли в процессе совершенствования мотивации персонала.

При принятии управленческих решений по совершенствованию мотивации персонала с учетом влияния причин, вызывающих дисбаланс, необходимо рассматривать влияние основных факторов в тесной связи между количеством, результатом и оплатой труда. Теснота связи определяется с помощью парной корреляции (таблица).

$Y_1$  (фонд оплаты труда) выступает как функция от факторов  $X_1$  – трудозатраты в ремонте горно-транспортного оборудования (ГТО), чел-ч/мес.;  $X_2$  – работоспособность ГТО, маш-ч/мес.; млн. т-км/мес.;  $Y_2$  (работоспособность ГТО) выступает как функция от факторов  $X_1$  – трудозатраты в ремонте горно-транспортного оборудования (ГТО), чел-ч/мес. Анализ показал, как размер оплаты труда работников ремонтных подразделений может зависеть от показателей труда - количества и результата труда.

В рыночных условиях, когда предприятию приходится адаптироваться к постоянно меняющимся требованиям рынков товаров, ресурсов и труда, усилению конкуренции со стороны других участников рынка, определение своего места на рынке труда дает существенное конкурентное преимущество по привлечению трудовых ресурсов и принятию эффективных управленческих решений по укреплению кадрового потенциала и контролю над затратами на оплату труда.

При разработке систем организации оплаты труда работников был выбран подход, позволяющий устранять недостатки существующих в настоящее время форм и систем оплаты труда работников угледобывающих предприятий, основанный на взаимоувязывании интересов работников и работодателя в трудовых отношениях. Использование интересов работников и работодателя, в качестве критерия при разработке подхода к формированию фонда оплаты труда работников участка (цеха), позволяет устанавливать целесообразные трудовые отношения на предприятии.

Апробация подхода, по совершенствованию организации оплаты труда, основанного на принципе взаимоувязывания интересов работников и работодателя, в организации труда и заработной платы работников комплекса занятых на экскавации горной массы (машинистов экскаваторов) на горном участке ОАО «Междуречье», позволила повысить эффективность труда, в частности – снизить удельные расходы в оплате труда машиниста экскаватора до

0,158 руб. на м<sup>3</sup> горной массы, при средних показателях по предприятию 0,50-0,52 руб. на м<sup>3</sup>, при этом поднять уровень заработной платы машиниста до 40000 руб. при средней заработной плате машиниста экскаватора на предприятии 27000-29000 руб. Экономический эффект за счет снижения удельного расхода затрат по заработной плате машинистов экскаватора при плановой установленной производительности экскаватора 850 тыс. м<sup>3</sup> в месяц составляет до 3220,8 тыс. руб. в год.

Реализация данного подхода по совершенствованию организации оплаты труда работников ОАО «Междуречье» позволяет в перспективе перейти на другой уровень конкурентоспособности предприятия на рынке труда по сравнению с достигнутыми показателями.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Генкин, Б.М. Экономика и социология труда: учебник для вузов / Б.М. Генкин. -М.: НОРМА-ИНФРА, 2008. -384 с.

2 Давыдов, А.В. Стимулирование труда работников железнодорожного транспорта: Теория и практика. / А.В. Давыдов, В.Д. Макогон, Г.В. Пеляева и др. -Новосибирск: Наука, 2005. -154 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *оплата труда, диагностика преобладающей системы мотивации, принцип взаимодействия, работники и работодатели, структура интересов*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Розин Игорь Викторович, соискатель ГОУ ВПО «НГТУ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»*

### **АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТА**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

**Е.В. Попантопуло**

#### **THE ANALYSIS OF PROBLEMS IN DESIGN OF OPERATIVE MANAGEMENT SYSTEMS**

«Siberian state university of telecommunications and information sciences»

E.V. Popantonopulo

This paper makes a retrospective review of the problems relating to design of operative management systems (OMS), some relevant aspects and results, on the research of development and introduction of OMS.

Представлены ретроспективный обзор проблем построения систем оперативного менеджмента (СОМ), некоторые важные аспекты и результаты исследований по разработке и внедрению СОМ.

Создание эффективных систем оперативного менеджмента (СОМ) в настоящее время является актуальной задачей антикризисного управления предприятиями различных отраслей в условиях повышенных и неопределенности изменений внешней среды.

Предметная область СОМ в настоящее время практически не наполнена прагматическими идеями; авторы работы [1] отмечают: «Чтобы четко сформулировать цель и определить главные задачи оперативного управления, необходимо расставить некоторые акценты, касающиеся выделения его в относительно обособленный, самостоятельный вид. К сожалению, в фундаментальных трудах по проблемам управления вопросы оперативного управления не затрагиваются вообще или рассматриваются вскользь и поверхностно. По сути дела нет четких представлений об объектах и центрах оперативного управления, слабо раскрыты связанные с ним информационные и организационные проблемы, весьма спорны многие положения, касающиеся его места, значения, целей и задач. Более того, в ряде работ оперативное управление не выделяется как обособленный во времени вид управленческой деятельности». До сих пор положение в этой предметной области не изменилось.

Некоторые исследователи, понимая актуальность СОМ, но не имея собственного и учитывая почти полное отсутствие отечественного опыта, пытаются декларировать идеи, навеянные зарубежной информацией об успехах различных фирм по созданию СУ, например [2-6]. Повышенный интерес к СОМ объясняется также неудачами в прошлом по созданию различных АСУ, не обладавших системной ориентацией различных профессиональных модулей и отличавшихся отсутствием адаптивного реализационного инструментария.

Справедливости ради необходимо также отметить, что в 1960-80 гг., когда шел «вал» различных АСУ, появились публикации, в которых приводились сведения о некоторых эффективных разработках СУ, вносящих существенный вклад в получение добротных отрас-

левых и межотраслевых результатов, например [7-12]. Не многие из этих работ получили дальнейшее развитие, однако, например, работы [7, 8], проводившиеся на предприятиях легкой и других отраслей промышленности, в дальнейшем были существенно расширены и дополнены и в настоящее время успешно используются во многих отраслях: в [13-15] представлены результаты системных разработок СОМ, в которых было достигнуто триединство теоретико-методологических и концептуальных основ, а так же адаптивного механизма реализации СОМ на базе новых информационных технологий.

В основе концепций эффективных ИТУ лежат установки системного характера. По мнению ряда системных аналитиков построение эффективных СУ с использованием ИТУ возможно на основе анализа стратегий управления и должно завершаться разработкой системы компромиссов.

Систему компромиссов необходимо рассматривать как согласование альтернативных тенденций, особенно обостряющихся при внедрении СОМ:

- поощрение инициативы и самостоятельности сотрудников;
- баланс корпоративных, коллективных и индивидуальных интересов;
- поощрение конкуренции и создание предпосылок для взаимопомощи;
- гибкая система планирования деятельности с возможностью смены приоритетов в зависимости от конъюнктуры.

Создание СОМ рассматривается как междисциплинарная проблема, которая должна решаться в результате системного анализа и проектирования; в результате структура, содержание и динамика информационных потоков должны соответствовать организационной структуре, формам и методам управления.

Основным критерием при формировании комплексов технических средств (КТС) СУ является оптимальное комплексирование аппаратных и программных средств [15]. Недостатками массового использования ПЭВМ при их недостаточно эффективном сетевом структурировании являются следующие:

- отсутствие интеграции всех форм деловой информации (документальной и не документальной);
- отсутствие единой (типовой) информационной технологии всей СУ, отдельных подсистем и АРМ пользователей;
- большой расход времени на неавтоматизированные коммуникации (например, телефонные операции – поиск абонентов, ожидания, повторные наборы);
- многократная и параллельная обработка информации;
- отсутствие единой системы и форм обмена информацией;
- отсутствие рекомендаций по составу и технологии решения типовых (детерминированных) задач различного уровня управления.

В этой связи основная нагрузка приходится на периферийные ТС КТС СУ, обеспечивающие адаптивную качественную информационную поддержку математического обеспечения и средств обеспечения информационного регламента и учёта рабочего времени.

Рассмотрим конкретизированное представление ИТУ в СОМ и их реализацию на базе КТС. Анализ зарубежной литературы показывает, что оценка эффективности единичных, автономных ПЭВМ и отдельных АРМ как терминальных элементов СУ неоднозначна. Это связано с тем, что даже в случае самых примитивных коммуникаций ПЭВМ или АРМ фиксируется некоторая информационная система и формируются организационно-технологические требования к ней. Поэтому разработка и внедрение таких локальных структур в составе КТС СУ требует предварительных исследований на уровне организационных структур, а именно:

- определение состава и функционального адресного использования информационных потоков;
- определение словарей (тезаурусов) и форм входных и выходных документов;
- определение структуры и фиксация состава функциональных информационных технологий (ИТ) пользователей, оснащенных АРМ;
- формирование критериев оценки выполнения ИТ по решению функциональных задач;
- согласование процессов функциональных ИТ между собой;
- регламентация частот и длительности обращения пользователей к информационным ресурсам СУ;
- анализ влияния ИТ на структуру и менеджмент фирмы и определение путей их развития;

– определение требований к квалификации менеджеров и специалистов и к системе подготовки и переподготовки кадров.

Опыт разработок и внедрения СОМ [16, 17] показывает, что проведение работ с использованием указанных рекомендаций способствовало повышению эффективности бизнес-процессов фирмы, за счет привлечения будущих пользователей на ранних стадиях разработок (технико-экономическое обоснование (ТЭО), техническое задание (ТЗ), техно-рабочий проект (ТРП) и др.). Это поднимает инициативу, создает предпосылки успешного внедрения, снижает психологический барьер, уменьшает сопротивление инновациям. Кроме того СОМ влияет на все уровни иерархии, намечается стойкая тенденция к реальному делегированию полномочий, снижению уровней и в некоторых случаях даже числа подразделений. Ощущается также влияние СОМ на руководителей корпоративного уровня, так как актуальным становится сокращение интеллектуального и квалификационного разрыва между высшим руководством и менеджментом среднего звена, необходимость изменений в формальной структуре власти, в межличностных отношениях и повышение персональной ответственности лиц, принимающих решение (ЛПР) в процессах и последствиях принятия решений.

К сожалению, достаточно часто в публикациях отечественных специалистов значительное место занимают описания зарубежных программных продуктов, которые преподносятся как новые информационные технологии, что приводит к противоречивым оценкам эффективности как первых, так и вторых. Очевидно ошибка здесь состоит в следующем: первоначально забывается, что технология и инженерия – это реализационный аспект идеологии. Далее инженерные решения идентифицируются с идеологией, затем разработчик «вырастает» из инженерного решения и критикует его как идеологию, каковой она вовсе не является. Это старая болезнь игнорирования основных принципов построения АСУ, сформулированных ещё в 70-80 годах академиком В.М. Глушковым [11]; в те годы это привело к неэффективности разработок АСУ. В настоящее время требуется пристальное внимание, чтобы были четко сформулированы основные положения концепции как идеологии построения и технологии (реализационного инструментария) современных систем управления. Уместно отметить, что в США ещё в 60х годах вопросам формирования концепции построения СУ уделялось решающее значение. Например, ещё в 1965 г. в директиве Министерства обороны США №32009, указывалось, что без этапа «формулирование концепции» предложения о контрактах на разработку не рассматриваются. В названном документе сказано, что формулирование концепций – это деятельность, предшествующая принятию решения о технической разработке системы, включающая анализ, проведение поисковых работ, определение структуры и выбор отдельных элементов системы; здесь определяется цель создания, сроки реализации, эффективность затрат, степень риска и т.д. В нашей практике этап ТЭО по своему содержанию не заменяет этап формулирования концепции, и практически здесь не прорабатывается идейная сторона вопроса.

Очевидно, что концепция построения СОМ современных предприятий – это комплексное понятие, содержащее множество компонентов и имеющее иерархическую структуру. Логика концептуального моделирования состоит в синтезе системы понятий и представлений на базе различных теорий с целью адекватного отображения аспектов СУ, влияющих на эффективность менеджмента.

Настоящая статья носит обзорно-аналитический характер и базируется на результатах многолетнего анализа многих (более 500) источников отечественной и зарубежной научно-технической литературы. Не все они равноценны: одни слишком претенциозны, другие очень слабо обоснованы, поэтому наибольшее внимание было обращено на работы известных ученых и менеджеров крупных фирм, имеющих опыт построения компьютеризированных систем управления. Исследовались также концепции изложенные в отечественной литературе, например [9-11].

Таким образом, используя опыт многих разработчиков и собственный, определилась методика проведения исследований в данной предметной области:

- постоянный мониторинг информационного пространства и анализ опыта построения и развития СОМ;
- выделение на этой основе лучших, стойких тенденций и построение прогностической модели СОМ;
- накопление и формирование базы знаний для выработки адаптивных концепций разработки и развития СОМ.

Альтернативой «классическим» АСУ были базовые разработки СОУП и в дальнейшем

СОМ [7, 8]. Значительный экономический эффект, малые сроки окупаемости (3-6 месяцев), полученные практически только за счет информативности и открытости процессов изготовления и выпуска готовой продукции в цехах с конвейерными поточными линиями позволили поднять производительность труда в среднем на 5-8% (усредненные данные по предприятиям различных отраслей (легкой промышленности, приборостроения и др.) Над каждым конвейером были установлены световые табло «план-факт-брак», обозреваемые работниками данного конвейера и соседних; это развивало естественную соревновательность и стремление достигнуть лучших технико-экономических показателей.

Эффективность управления зависит от разработки стратегии внедрения, учитывающей особенности организационного механизма и принятия решений на каждом уровне, а также, что особенно важно, особенности социальной инфраструктуры объектов управления. В этом контексте особенно важны следующие организационно-технологические требования к стратегии внедрения СОМ:

– интенсивная эксплуатация с первых дней создания работоспособных подсистем и их фрагментов; отсюда весьма результативным является привлечение будущих пользователей к созданию СУ;

– дружественный интерфейс пользователей с СУ, эргономика и коммуникационный комфорт;

– эффективная система подготовки и переподготовки кадров на базе действующих СУ, подсистем и их фрагментов.

Последнее особенно эффективно при использовании учебно-тренажерных программно-технических комплексов (УТПТК) как высоко адекватных микромоделей СУ [13-16].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Оперативный контроль экономической деятельности предприятий / под ред. Б.И. Валуева. -М.: Финансы и статистика, 1991. -223 с.

2 Жубер, Р. Теоретические основы и методы контроллинга в управлении промышленными разработками: автореф. дис. ... д-ра экон. наук / Р. Жубер. -СПб., 1991. -31 с.

3 Кнауф, В. Контроллинг как система повышения эффективности менеджмента / В. Кнауф. -М., 1998. -119 с.

4 Малышева, Л.А. Математические методы в оперативном контроллинге на промышленном предприятии: автореф. дис. ... канд. экон. наук / Л.А. Малышева. -СПб., 1999. -18 с.

5 Чермошнюк, А.Г. Исследование инструментов оперативного котроллинга на промышленном предприятии: автореф. дис. ... канд. экон. наук / А.Г. Чермошнюк. -СПб., 1996. -17 с.

6 Фалько, С.Г. Контроллинг на предприятии / С.Г. Фалько, В.М. Носов. -М.: О-во «Знание России», 1995. -80 с.

7 Винокуров, Г.З. Автоматизированная система управления предприятием «Лидер» / Г.З. Винокуров. -М.: Легкая индустрия, 1977. -135 с.

8 Винокуров, Г.З. Микропроцессорные системы управления в легкой промышленности / Г.З. Винокуров. -М.: Легпромбытиздат, 1989. -175 с.

9 Тычков, Ю.И. Совершенствование управления промышленным предприятием с использованием информационных систем / Ю.И. Тычков. -Новосибирск: Наука, 1988. -201 с.

10 Адаптивная АСУ производством (АСУ «Сигма») / Г.И. Марчук [и др.]. -М.: Статистика, 1981. -176 с.

11 Глушков, В.М. О системной оптимизации / В.М. Глушков // Кибернетика. -1980. -№5. -С. 89-90.

12 Глушков, В.М. Основы безбумажной информатики / В.М. Глушков. -М.: Наука, 1982. -473 с.

13 Винокуров, С.Г. Системы оперативного менеджмента / С.Г. Винокуров. -Новосибирск: Изд-во НГУ, 2005. -224 с.

14 Винокуров, С.Г. Модели и методы оперативного менеджмента / С.Г. Винокуров. -М.: Экономика, 2006. -207 с.

15 Винокуров, С.Г. Модели и методы оперативного менеджмента / С.Г. Винокуров. -2-е изд., исправ. и доп. -М.: Экономика, 2007. -246 с.

16 Ситников, С.Г. Особенности создания систем оперативного менеджмента / С.Г. Ситников // Электросвязь. -2008. -№2.

17 Папонтонопуло, Е.В. Сущность и основные принципы моделирования маркетинговых

задач в системах оперативного менеджмента / Е.В. Папонтонупуло // Кожевенно-обувная пром-сть. -2008. -№2.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *оперативный менеджмент, информационные технологии, эффективность управления, системный подход*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Папонтонупуло Евгений Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «СибГУТИ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, ГОУ ВПО «СибГУТИ»*

## **ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ МОДЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТА**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

**Г.З. Винокуров**

**ISSUES OF DEVELOPMENT OF MODELLING TOOLS FOR OPERATIVE MANAGEMENT SYSTEMS**  
«Siberian state university of telecommunications and information sciences»  
G.Z. Vinokurov

This paper highlights distinctive features of development and use of modelling tools of modern management systems (MS) as which operative management systems are presented.

Рассмотрены отличительные особенности создания и использования модельного инструментария современных систем управления (СУ), в качестве которых представлены системы оперативного менеджмента (СОМ).

Особая роль в создании, функционировании и развитии СОМ принадлежит модельному обеспечению, проблема оценки надежности которого требует выхода на качественно новый уровень моделирования:

- определение оптимального периода тактового управления;
- применение многоцелевых моделей оперативного менеджмента;
- формулирование множества целевых функций и выбор оптимальной в сбойных ситуациях;
- преодоление проблемы мультиразмерности по числу факторов в условиях отслеживания динамики функционирования и развития СУ в реальном времени.

Высокий динамизм и стохастичность процессов функционирования и развития социально-экономических систем и внешней среды, невозможность системного моделирования в некоторых нестационарных режимах, обуславливают особую роль экономико-математических моделей (ЭММ) для решения задач оперативного менеджмента производственно-коммерческой деятельности предприятий (ПКДП). В ряде случаев ЭММ выступают как основной и единственный инструмент решения этих важнейших задач на всех этапах жизненного цикла объекта и СУ.

Целевой модельный комплекс (ЦМК) СОМ как некоторая системная концептуальная модель предметной области исследования включает значительную совокупность количественных и оптимизационных задач ПКДП [1].

Без широкого использования ЭММ невозможно решение на современном уровне целого ряда актуальных задач управления экономикой и социальным развитием, автоматизации технологических процессов, создание сложных технических систем, развития научных исследований и т.д.

Отличительными особенностями ЭММ по сравнению с другими имитационными моделями являются:

- универсальность (способность описывать процессы и явления, имеющие различную природу);
- информативность (высокая степень сжатия информации за счет выявления основных закономерностей и фильтрации второстепенных факторов);
- динамичность (возможность моделирования процессов функционирования и развития в масштабе реального времени – МРВ);
- оперативность (возможность более скоростного эксперимента с моделями по сравнению с натурными образцами);
- экономичность (сведение к минимуму затрат по сравнению с другими методами решения задач);
- безопасность (в некоторых случаях это очень важно).

Для применения таких ЭММ необходимо проблемно-ориентированное алгоритмическое и программное обеспечение при условии инвариантности к технической реализации. Компьютерные технологии с применением ЭММ позволяют многократно повысить адекватность моделей реальной системе, оперативность и возможность анализа модели в различных режимах решения задач. Кроме того, становится возможной выработка методологии решения задач с использованием адаптивных методов исследования.

При создании СУ той или иной степени сложности можно выделить несколько традиционных этапов, в ходе которых определяется роль математического моделирования:

- предпроектная экспертиза (исследование объекта, технико-экономическое обоснование (ТЭО), техническое задание (ТЗ));
- проектирование (техно-рабочий проект (ТРП), технический проект (ТП), рабочий проект (РП), нередко по согласованию заказчика и разработчика выбирался один из видов проектирования, чаще всего – ТРП);
- испытания;
- эксплуатация (опытная и затем промышленная).

На этапе проектной экспертизы математическое моделирование позволяет повысить обоснованность и точность прогнозов и оценок характеристик предполагаемой для разработки системы.

Ошибки в оценках реальных организационно-технических и эксплуатационных характеристик, которые могут возникнуть на этапе экспертизы, приводят в дальнейшем к неустойчивости работы СУ, что является одним из факторов снижения общей надежности ее функционирования.

Очень важную роль на данном этапе играет анализ различной статистической информации по аналогам разрабатываемой системы, а также организация и анализ экспертных оценок характеристик таких систем.

Необходимо отметить, что на данном этапе (впрочем, как и на любом другом), в зависимости от цели и сложности решения задач могут использоваться любые виды имитационного моделирования; главное при этом – адаптивный надежный интерфейс входных и выходных параметров моделей, включенных в единую системную цепочку. Для получения начальных оценок могут использоваться более обобщенные структурные модели. Полученные на них результаты моделирования используются далее для выбора оптимальных структур и соотношений между отдельными компонентами системы.

На этапе проектирования ЭММ позволяют в некоторых случаях дать приемлемые оценки интегральных характеристик надежности разрабатываемых систем и определить их зависимость от проектных решений; тем самым создаются предпосылки более обоснованного выбора оптимальных с точки зрения надежности проектных решений. ЭММ на данном этапе позволяют более точно оценить параметры пропускной способности отдельных подсистем и требования к надежности отдельных компонентов сложных систем. Ошибки в оценках подобных характеристик на этапе проектирования приводят в дальнейшем к появлению «узких мест» (перегруженных подсистем, узлов, элементов с повышенной частотой отказов), что значительно снижает общую надежность системы в целом.

На этапе испытаний математическое моделирование позволяет в ряде случаев оценивать интегральные характеристики надежности по наблюдениям за отдельными компонентами систем, что способствует сокращению сроков и общего объема испытаний, который был бы необходим для получения интегральных характеристик надежности непосредственно по результатам комплексных натурных испытаний.

При ограничениях на общие объемы и сроки испытаний такой подход часто приводит к повышению достоверности данных, полученных на испытаниях, и, следовательно, опосредовано к повышению надежности испытываемой системы.

В некоторых случаях математическое моделирование позволяет на основании экстраполяционных методик получить оценки надежности характеристик системы в нереализуемых режимах (они по каким-либо причинам не могут быть воссозданы в процессе испытаний, но реальны в процессах эксплуатации). Для некоторых уникальных СУ «единичного пользования» математические модели являются по существу единственным способом моделирования процесса комплексных испытаний и оценки интегральных надежностных характеристик системы. Отметим также, что на данном этапе особую роль играет комплексное статистическое обеспечение испытаний.

На этапе эксплуатации математическое моделирование процессов функционирования

СУ позволяет определить реальные апостериорные надежность характеристики и на основании сравнения их с априорными характеристиками выработать рекомендации по управлению объектом, повышающие надежность его функционирования. Получая с помощью математических моделей динамику изменения параметров СУ, можно искать решения для задач таких систем с учетом факторов надежности. Особую роль здесь также будут играть методы статистического анализа.

В настоящее время в отечественной и зарубежной практике отсутствуют разработки СОМ с использованием проблемно – ориентированных модельных комплексов, сопровождающих все этапы создания, эксплуатации и развития СУ [2].

Ситуация осложняется общей недооценкой многими разработчиками роли и эффективности математического моделирования с применением адаптивных компьютерных технологий управления. Отметим также, что общий уровень развития и внедрения информационных компьютерных технологий управления в отечественной практике явно отстает от возможностей и потребностей использования методов математического моделирования не только в области создания эффективных СУ, но и во многих других областях.

Другой аспект этой проблемы составляет отсутствие адаптивной технологии разработки математического, алгоритмического и программного обеспечения для решения задач в системах управления реального времени, в том числе и в задачах обеспечения их надежности. Таким образом, отечественная практика испытывает огромный дефицит в проблемно-ориентированном матобеспечении при создании различных СУ. Наконец, в ближайшей перспективе, в рамках антикризисных мер, речь должна идти о необходимости ускорения финансирования разработок и внедрения нового поколения интеллектуальных СУ с использованием проблемно-ориентированных экспертных систем и баз знаний в каждой предметной области.

Неслучайно научно-техническая конкуренция в этой области за рубежом носит особо ожесточенный характер, причем, разработки различных СУ активно финансируются различными ведомствами. Это является одним из главных факторов новых достижений научно-технического прогресса (НТП).

В современных условиях для преодоления дестабилизирующих воздействий кризиса и повышения эффективности управления действующих предприятий в качестве одной из мер ускорения НТП во всех сферах деятельности является использование новых информационных технологий управления (ИТУ) с применением ВТ и математических методов. В этом важную роль могли бы сыграть специализированные проблемно-ориентированные подразделения по математическому моделированию бизнес-процессов и подготовки ППП для разрабатываемых СУ.

К сожалению, эту работу необходимо начинать с нуля, одновременно с подготовкой кадров в области математического моделирования. Одним из существенных препятствий на пути решения данной проблемы явилась «утечка мозгов» и постоянные эксперименты в сфере образования, подготовки и переподготовки кадров. Другим препятствием является нежелание чиновников и руководителей высшего уровня «садиться за парту». Здесь как нельзя более своевременно прозвучала инициатива президента РФ Д.А. Медведева о принятии жестких мер в деле повышения компьютерной грамотности лиц, замещающих высокие государственные должности.

В качестве одной из организационных перспективных форм может быть создание временных творческих коллективов «математиков – формализаторов задач», объединенных под общим термином «мелкий научный бизнес». Такая форма широко распространена за рубежом и была успешно апробирована в нашей стране и является одним из наиболее существенных факторов обеспечения высоких темпов НТП.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Ситников, С.Г. Системы оперативного менеджмента диверсифицированных предприятий / С.Г. Ситников. -Новосибирск: Наука, 2008. -206 с.

2 Винокуров, С.Г. Модели и методы оперативного менеджмента / С.Г. Винокуров. -М.: Экономика, 2007. -224 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** оперативный менеджмент, модельный инструментарий, информационная технология управления, многоцелевые модели

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Винокуров Георгий Захарович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «СибГУТИ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, ГОУ ВПО «СибГУТИ»

## **К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ И АЛГОРИТМИЗАЦИИ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТА**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

**С.Г. Ситников**

**TO THE POINT OF MODELLING AND ALGORITHMIZATION OPERATIVE MANAGEMENT PROBLEMS**  
«Siberian state university of telecommunications and information sciences»  
S.G. Sitnikov

Modelling and realization of realtime management problems, which are operative management systems, become particularly problematic at present time. This paper states basic requirements to development and use of modelling maintenance of operative management systems.

Особо проблематичным в настоящее время является моделирование и реализация задач управления реального времени (СУВР), каковыми являются системы оперативного менеджмента (СОМ). В данной статье изложены основные требования к созданию и использованию модельного обеспечения СОМ.

Проблема заключается в том, что имитационное моделирование не гарантирует полной адекватности проектного решения и его реализации, то есть не гарантирует полную верификацию решения.

Невозможность получения строгой математической модели предметной области кроется, прежде всего, в наличии неопределенности, возникающей в процессе разработки системы управления и обусловленной следующим:

- отсутствие системности, многочисленность и неопределенность некоторых переменных и условий функционирования объекта практически на всех этапах разработки системы управления (СУ);
- трудности, а иногда и невозможность количественного описания некоторых параметров объекта, ограничений и требований на разработку;
- субъективность дескриптивных постановок задач моделирования;
- отсутствие четкого перечня и приоритетов решения задач;
- выделение в отдельный блок трудноформализуемых задач, например, социальных аспектов;
- определение блока априорных, детерминированных задач, моделирование которых значительно повысит уровень автоматизации решения общего числа задач;
- отсутствие дискурсивного понимания системности всего модельного обеспечения СУ, причин и условий принятия решений и методов практической деятельности;
- дисбаланс взглядов и требований заказчика и разработчика на СУ как объект разработки;
- многокритериальность и большая размерность задач управления;
- невозможность в некоторых случаях задать целевую функцию в явном виде;
- отсутствие до сих пор моделей задач, требующих решения в МРВ (впрочем, как и системных разработок СУРВ) [1, 2].

Совокупность указанных факторов затрудняет получение модельного инструментария для реализации информационных технологий управления.

При разработке СОМ были учтены эти факторы, что позволило сформулировать требования к моделям оперативного менеджмента:

- адекватность моделей реальным процессам функционирования и развития предприятия и внешней среды;
- семантическая выразительность, мнемоническое изображение компонентов моделей;
- интерактивность, обеспечивающая одновременное использование модели различными пользователями при сохранении селективности в определении последствий принимаемых решений;
- многокритериальность. В условиях повышенных динамичности и неопределенности функционирования предприятий и внешней среды, особенно на переходных режимах, единственный критерий эффективности не может служить обоснованием наилучшего варианта решения; чем больше критериев определено, тем объективнее выбор наиболее эффективного в зависимости от создавшейся ситуации. При выборе критериев в качестве главных

выделяются те, которые можно представить в формализованном виде как значения технико-экономических показателей (для верхнего уровня управления); оставшиеся критерии, определяющие функционирование нижних звеньев иерархии управления (цехов, потоков), представляют собой локальные ТЭП, и достижение их может рассматриваться как результат опыта, интуиции и знаний менеджеров – пользователей СОМ соответствующих уровней;

- возможность использования упреждающего управления;
- удобный доступ (интерфейс) конечного пользователя к информационным и вычислительным ресурсам, возможность получения численного решения;
- модель должна (пере)настраиваться и работать (должна содержать механизм адаптации) при смене форм хозяйствования и организации производства;
- использование в качестве моделей-тренажеров в системе подготовки и переподготовки кадров и, особенно, непосредственно на предприятии, на базе действующей СОМ;
- инвариантность к технической реализации;
- открытость и развиваемость.

Эти требования легли в основу создания модельного обеспечения СОМ. Целевой модельный комплекс СОМ является в целом концептуальной моделью предметной области и содержит модели, позволяющие решать спектр практических задач оперативного менеджмента [2].

Особая роль в использовании практических результатов решения задач моделирования и принадлежит выходным документам, с которыми работают пользователи СУ. Требования, предъявляемые пользователями к форме представления результатов решения задач, состоят в следующем:

- полная смысловая расшифровка решения и сопутствующей ему информации;
- обеспечение возможности производительной компоновки элементов решения, исходных данных и производных от них результатов в одном или нескольких документах (таблицах);
- соблюдение общепринятых стандартов и специфических индивидуальных требований пользователя к текстовому и графическому оформлению документов.

Формы выходных документов согласуются на стадии разработки технического задания и затем могут корректироваться в процессе опытной и промышленной эксплуатации.

В качестве выходных документов СОМ приняты видеодиаграммы решения задач ПКДП.

Интегративность СУ и делегирование полномочий создают априорную персональную ответственность ЛПР на всех уровнях иерархии и исключают необходимость поиска «кто виноват?», актуализируют процесс «что делать?» в условиях острого дефицита времени и ресурсов.

Ввиду сложности интеграционной архитектуры СОМ синхронность бизнес-процессов и менеджмента не может быть «жесткой» из-за повышенной инерционности бизнеса; поэтому существует постоянный разрыв между принятием решений и их исполнением. На практике удается достичь некоторого приемлемого уровня синхронизации и, в итоге, эффективности менеджмента [2].

На пути повышения адекватности моделей и, соответственно, достоверности информации возникает серьезная социальная проблема, подогреваемая, в основном, «теневиками», распространяющими мнение «хоть как, но не так». Выход из таких ситуаций находился путем государственной метрологической аттестации СУ и создания учебно-тренажерных программно-технических комплексов на первых этапах создания СУ. Это создавало условия дальнейшей творческой совместной деятельности специалистов и менеджеров заказчика и разработчика. Обеспечивался плавный переход в фазу опытной и промышленной эксплуатации, а также снималась социальная напряженность в связи с некими «полицейскими» функциями СУ.

СОМ прошли многолетний путь развития «от практики к теории», что в настоящее время оставляет минимальную необходимость верификации, оставляя дежурной лишь задачу адаптивности в условиях повышенных динамичности и неопределенности функционирования и развития экономики и общества.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Оперативный контроль экономической деятельности предприятий / под ред. Б.И. Валуева. -М.: Финансы и статистика, 1991. -223 с.

2 Ситников, С.Г. Системы оперативного менеджмента диверсифицированных предприятий / С.Г. Ситников. -Новосибирск: Наука, 2008. -206 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** оперативный менеджмент, адаптация, неопределенность, системы управления  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Ситников Сергей Георгиевич, канд. техн. наук, профессор, ректор ГОУ ВПО «СибГУТИ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, ГОУ ВПО «СибГУТИ»

## **ВОПРОСЫ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

**С.Г. Ситников**

### **ISSUES OF AN EFFECTIVE USE OF INFORMATION RESOURCES**

«Siberian state university of telecommunications and information sciences»

S.G. Sitnikov

As a society develops, the occurrence, development and consumption of this or that resource becomes of much importance. This paper is devoted to an effective utilization of information resources.

По мере развития общества становится актуальным появление, развитие и потребление того или иного ресурса. В данной статье речь идет об эффективном использовании информационных ресурсов.

В современных условиях особо возрастает значение информации оперативного характера и не только в военно-политической сфере, но и в производственно-экономической. Кризисные явления и повышение конкурентной борьбы требуют определения приоритетов и концепций построения и развития систем оперативного менеджмента, в основе которых заложены упреждающее управление, новые информационные технологии, высокие оперативность, достоверность, адаптивность и защита информационных ресурсов, как одного из определяющих видов ресурсного обеспечения бизнеса.

Информация становится таким же основным ресурсом, как материалы и энергия, и, следовательно, по отношению к этому ресурсу должны быть сформулированы те же критические вопросы: кто им владеет, кто в нем заинтересован, насколько он доступен, возможно ли его коммерческое использование.

«Соотношение между массой и «информацией» меняется и будет меняться и дальше. Наше процветание зависит от этого, – констатирует американский бизнесмен П. Хоукен, автор книги «Экономика будущего». – Главное отличие между современным состоянием экономики и тем, которое было 20 лет назад, состоит в том, что производитель уже не может использовать больше энергии для увеличения производительности. Это слишком дорого. Вместо этого он должен стать изобретательнее в том деле, которое он делает, и в этом ему поможет «Информационная экономика».

Эта же идея проводится в трудах американского футуролога Дж. Нейсбита. Из десяти главных, по его мнению, тенденций современности он ставит на первое место формирование «информационного общества». Он пытается доказать, что уже не капитал определяет суть экономических отношений общества, а процесс накопления и использования знаний. «Мы в массовом порядке производим теперь знания, и эти знания превращаются в определяющую силу развития экономики» [1].

Материальной основой информатизации экономики является её компьютеризация и создание телекоммуникаций, что позволяет создать принципиально новые возможности экономического развития для многократного роста эффективности общественного труда, оптимального решения социальных и экономических проблем. В конечном итоге это способствует формированию экономических отношений принципиально нового типа.

Информатизация экономики оказывает влияние на различные сферы общественной жизни: в материальном производстве обеспечиваются необходимой информацией непосредственные производители на всех этапах создания конечного продукта. При этом от своевременности и качества информации во многом зависят результаты общественного производства. В сфере обслуживания при создании индустрии услуг информационные функции в широких масштабах передаются от человека к механизмам (компьютерам, средствам связи и т.п.). В творческой деятельности компьютеры освобождают людей от рутинной работы при создании духовных ценностей. В сфере управления производством и обще-

ством компьютеры и другие технические средства создают материальную основу для автоматизации управленческих операций, изменяя функции и структуру управления, что, в конечном итоге, делает этот процесс более совершенным и производительным.

Не является исключением и потребление обществом информационных ресурсов. Сегодня уже видны не только преимущества информатизации общества, но и негативные тенденции этого явления. Президент РФ Д.А. Медведев на совещании 12.02.2009 г., посвященном вопросам информатизации, отметил огромное отставание нашей страны в этой области от других стран. Одной из причин, на наш взгляд, является явное нежелание чиновничьего аппарата на всех уровнях использовать новые, безбумажные технологии в своей деятельности, и это понятно: информационные технологии обеспечивают прозрачность бизнеса, а это блокирует пока еще живучие тенденции «ловить рыбку в мутной воде». Внушает оптимизм решимость руководства страны принять жесткие меры по исправлению сложившейся ситуации.

Анонсирована наука об информационном взаимодействии человека и окружающей среды – информационная экология [1-3]. Основные проблемы, на которых сосредоточены усилия этой новой науки: зашумленность информационного пространства, отсутствие эффективных систем адаптивной фильтрации информационных потоков, недостаток информационных ресурсов для принятия эффективных решений, рост времени поиска достоверной информации.

В связи с этим особое место принадлежит различным публикациям, массовый характер которых вызывает некоторые опасения по их достоверности и полезности для общества в качестве одного из видов информационных ресурсов.

Систематическое общение с высокоэнтропийными публикациями ослабляет критичность потребителей; это особенно опасно в научной и педагогической деятельности. В то же время массовому характеру таких публикаций способствует и подмена их целей. Многие из них имеют целью не информирование читателей о действительно надежном и полезном для общества результате исследования, а лишь пополнение формального списка публикаций, необходимого для достижения определенных карьерных целей. Особенно это касается публикаций результатов диссертационных исследований. Поскольку эти сведения приведены в квалификационных работах на соискание ученых степеней, остановимся на одном широко распространенном в технологии публикаций приеме: известно, что редактирование заголовка или названия публикации – это зачастую трудный, мучительный процесс, ибо в названии авторы стремятся выразить максимальные сведения, раскрывающие актуальность и содержание представляемого материала. Однако во многих публикациях прослеживается совершенно недопустимый авантюристический подход – использование «раскрученного бренда»: в заголовке книги и в аннотации читателю сообщается, что в работе приводятся теория вопроса, концепция и реализационный механизм и т.д., а в тексте самой работы этих сведений нет, например [4-6]. В работе [4] параграф 5.1 называется «Комплексный подход к упреждающему управлению региональной экономикой», однако в тексте параграфа нет ни слова об упреждающем управлении. Такие торопливые попытки «серфинга» на волне «раскрученного бренда» приводят к поверхностным статьям и монографиям, подающим авантюристические приемы «под новым соусом».

Многие авторы имеют отношение к учебному процессу: представленные в публикациях и диссертациях на соискание ученых степеней кандидатов и докторов наук материалы годами читаются в лекциях студентам и аспирантам. Не исключено, что и последующие исследователи, читая такие публикации и слушая лекции этих преподавателей, также будут инфицированы отмеченными мемами, которые вновь будут реплицироваться уже в новых статьях и диссертациях. Ещё пример – текст работы заполнен материалом, слабо или вообще не касающимся обозначенной в заголовке тематики [7, 8], и таких примеров, к сожалению, можно привести множество.

Коммерциализация научной печати приводит к резкому снижению критериев научности публикаций, и, таким образом, снижается уровень качества информационного пространства. Использование читателями таких публикаций приводит к положительной обратной связи и дальнейшему росту энтропии публикаций.

Выше нами использован термин «мемы»; мем – это элементарная информационная единица. Мемами могут выступать не только модные идеи, лозунги, религиозные догмы, стереотипы поведения и т.д., но и клише и обороты, используемые авторами печатных научных работ. Мем существует на определенных носителях, которыми могут быть речь, прес-

са, книги, звуковые записи, видеозаписи, компьютерные файлы и т.д. Транслятором мемов может быть только человек. В процессе трансляции мем может подвергаться перестройке, рекомбинации с другими мемами, существующими на данном носителе. Естественный отбор сохраняет в данном индивиде те мемы, которые легко запоминаются и понимаются, а также приносят его носителю финансовые, материальные, моральные или иные дивиденды. По этим причинам данные мемы являются наиболее «инфекционными» для окружения его носителя. Наибольшая вероятность культивирования определенного набора мемов, в том числе и несущих в себе ошибочную информацию, присуща локальным научным школам, базирующимся в одном ВУЗе, НИИ, городе, регионе.

Внедрение компьютерных технологий, а также желание авторов следовать тенденциям точных наук, приводит к тому, что они в публикациях стремятся отразить результаты использования статистического анализа, однако недостаток знаний и опыта проведения такого анализа, а также отсутствие в литературе четко сформулированных требований к описанию его результатов приводят к значительному снижению ценности подобных публикаций.

Становится очевидной необходимость типизации и даже стандартизации формы представления экспериментальных материалов. Впервые на эту проблему обратил внимание известный российский статистик и методолог научных исследований В.В. Налимов [9]. Представляется, что описание статистики должно осуществляться следующим образом:

- четко сформулированная цель;
- соответствие контексту;
- четкая взаимосвязь различных этапов;
- адекватность степени детализации и объема описания статистики использованным методам исследования.

Попытки создания в 80е годы прошлого столетия ГОСТов по прикладной статистике не были успешно завершены, и до сих пор такой системы стандартов нет.

Анализ редакционных требований наиболее известных российских изданий показывает, что в большинстве из них эти аспекты вообще не затрагиваются, и, как следствие, публикации в таких журналах содержат массу примеров некорректного использования и описания методов статистики.

По нашему мнению, наиболее важными вопросами стандартизации формы представления результатов статистического анализа экспериментальных исследований являются следующие:

- создание набора показателей, которые должны представляться в публикациях, в том числе применительно к конкретным статистическим методам;
- формирование системы базовых понятий и условных обозначений для наиболее часто используемых выборочных статистик.

Для решения этих задач необходима совместная работа редакций журналов с участием специалистов-отраслевиков с целью создания унифицированных редакционных требований к форме представления результатов статистического анализа экспериментальных данных. Это будет способствовать повышению качества и системности «информационного пространства» в различных областях научных исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шапцев, В.А. Информационная экология человека. Постановка проблемы / В.А. Шапцев // Мат. структуры и моделирование. -1999. -Вып. 3. -С. 125-133.
- 2 Колков, А.И. К вопросу становления информационно-экологической системы / А.И. Колков // Информ. ресурсы России. -2000. -№4. -С. 23-27.
- 3 Мизинцева, М.Ф. Информационная экология и вопросы теории и практики развития информационного общества / М.Ф. Мизинцева, Л.М. Королева, В.В. Бондарь // Технологии информационного общества. Интернет и современное общество: материалы Всерос. объедин. конф. -СПб., 2000.
- 4 Вертакова, Ю.В. Упреждающее управление на основе новых информационных технологий / Ю.В. Вертакова. -Курск: КГТУ, 2001. -151 с.
- 5 Козлова, Е.В. Опережающий антикризисный менеджмент: инструментальные, организационные и информационные основы / Е.В. Козлова. -Саратов: СГСЭУ, 2001. -235 с.
- 6 Козлова, Е.В. Концепция опережающего антикризисного менеджмента / Е.В. Козлова. -Саратов: СГСЭУ, 2001. -231 с.

7 Крутик, А.Б. Антикризисный менеджмент. Превентивные методы управления / А.Б. Крутик, А.И. Муравьев. -СПб.: Питер, 2001. -429 с.

8 Татарский, Е.Л. Совершенствование системы управления промышленным предприятием в новых экономических условия / Е.Л. Татарский. -М.: Маркетинг, 2000. -118 с.

9 Налимов, В.В. О стандартизации способов представления экспериментального материала / В.В. Налимов // Заводская лаборатория. -1961. -Т.27, №10. -С. 1268-1273.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *информационные ресурсы, концепция построения, информационные технологии*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Ситников Сергей Георгиевич, канд. техн. наук, профессор, ректор ГОУ ВПО «СибГУТИ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, ГОУ ВПО «СибГУТИ»*

## **СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТА**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

**С.Г. Ситников**

### **THE SYSTEM APPROACH IN DESIGN OF OPERATIVE MANAGEMENT SYSTEMS**

«Siberian state university of telecommunications and information sciences»

S.G. Sitnikov

In modern crisis conditions the system approach in solving production management problems is becoming relevant. This paper introduces the use of the system approach in order to increase the synergistic result in scientific researches and business.

В современных кризисных условиях, особенно актуальным становится системный подход в решении задач управления производством. В статье предлагается использование системного подхода для повышения синергического эффекта в научных исследованиях и бизнесе.

Множество компонентов социально-экономической системы (каковой является предприятие) и усложнение их взаимосвязей требуют применения системного подхода в решении вопросов управления и обеспечения стабильности и безопасности бизнеса.

Существенным препятствием на пути создания эффективных систем управления (СУ) предприятиями является отсутствие данных о взаимоотношении множества неблагоприятных воздействий внешней и внутренней среды. В связи с этим необходимо, с помощью системного подхода, выявить наиболее значимые параметры этого многофакторного прессинга на состояние «здоровья» экономики (и, в прямом смысле, – людей) в различные периоды, и, на основе этих исследований, составить некий классификатор, который позволит перевести многие задачи управления в детерминированный вариант. Необходимо предложить способы мониторинга информационного пространства, становящегося (нередко целенаправленно) все более неопределенным и с большим уровнем информационных шумов, в которых «тонет» полезный сигнал о возможных угрозах.

Известно, что единого интегрального показателя состояния бизнеса не существует, ибо отдельные его составляющие (индикаторы) также носят комплексный и, зачастую, вероятностный характер; нарушение системности из-за отрицательного состояния одного из них нарушает всю цепь ранее работавших синхронно бизнес-процессов и менеджмента.

При построении моделей взаимоотношений компонент экономической системы могут использоваться различные индикаторы состояния, различные методы оценки, методы математического анализа и т.д.

В частности, в качестве математического аппарата для оценки влияния различных факторов на стабильность социально-экономической системы целесообразно применение метода дискриминантного анализа. В этом случае необходима группа измерений, по которым составляется дискриминантное уравнение

$$D = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i + \dots + a_nx_n,$$

где  $a_i$  – коэффициенты дискриминантного уравнения;

$x_i$  – измеряемые, диагностические параметры факторов внешней среды;

$n$  – емкость пакета исследуемых параметров.

Рассчитывается также граничное значение дискриминантной функции ( $D_{гр}$ ). Если  $D > D_{гр}$  в расчетном интервале времени, то ситуация угрожающая (или сигнальная); при  $D < D_{гр}$  – ситуация в норме. В случае возникновения угрожающей ситуации целесообразно

проследить динамику ее развития, и, если угроза сохраняется, определить параметры, которые привели и поддерживают это состояние, и путем различных оргтехмероприятий изменить их в сторону уменьшения  $D$ .

Для каждого производственного объекта уравнение отличается своими параметрами и числовыми коэффициентами; наиболее приоритетные параметры определяется путем итеративного дискриминантного анализа. Такой подход позволяет осуществлять последовательный мониторинг, от объекта к объекту (от участка к участку производства) и, на его основе, – нивелирование или ликвидацию воздействий неблагоприятных факторов.

Таким образом, определение взаимосвязи уровня безопасности бизнеса с факторами внешней среды на основе системы оценки реального и потенциального рисков и экспертизы степени экономической напряженности региона дает новый подход для решения данной проблемы – использование современных технологий формирования базы экономической информации. При организации мероприятий по снижению степени экономической напряженности региона и обеспечению безопасности бизнеса необходимо учитывать взаимосвязи в трехступенчатой системе «внешняя среда-стабильность бизнеса-принятие решений».

Системный подход в научных исследованиях является одним из высокоорганизованных видов человеческой деятельности и имеет многовековую историю. Авторы статьи [1] приходят к выводу, что система есть форма представления предмета научного познания; в этом смысле она является фундаментальной и универсальной категорией.

Современные многочисленные дискуссии по поводу предлагавшихся определений, как правило, поднимают вопрос: кем и чем задаются важнейшие системообразующие признаки? Ответ на этот вопрос может быть общим, если учесть, что форма представления предмета познания должна быть адекватной самому объекту познания. Именно объект определит то интегративное свойство (выделяемое субъектом), которое делает целостность «определенной». Таким образом, выявляется роль онтологического подхода в представлении объекта и предмета познания и учитывается включенность объекта в человеческую деятельность.

В менеджменте эта проблема усугубляется чрезвычайной сложностью социально-экономических объектов и бизнес-процессов, которые предстают как целостные динамические системы, состоящие из множества взаимодействующих подсистем и процессов – от низовых звеньев производства до корпоративного и даже национального уровня, с различными временными характеристиками, при многообразии внешних условий. Из этого множества нельзя без нарушения целостности извлекать и изучать только зону интереса. Поэтому в настоящее время, в связи с бурным развитием компьютерных информационных технологий и интеллектуализации контрольно-измерительных комплексов становится очевидной практическая реализация системного подхода в различных научных исследованиях и НИОКР.

Для этого необходимы информационная база и алгоритм применения организационно-програмно-технического инструментария для исследователя, что позволяет ему изучать объект исследования, имея в виду в первую очередь системность самого объекта, с целью получения нового знания. Понятие «знание» включает в себя: модели и методы исследования; методики планирования экспериментов, идентификации, контроля, прогнозирования и обработки результатов; экспертные оценки и системы; принятие решений и инженерные методы реализации. Сюда же относятся взаимоотношения, интерфейсы в системе «человек – система управления», которые фиксируются в виде алгоритмов, инструкций и т.д. и становятся неотъемлемой частью системы, во многом определяя ее эффективность.

В менеджменте различных предприятий имеется целый ряд ограничений и специфических условий, которые определяют важные требования к СУ:

- интеграция в рамках единой системы всех (или большинства) компонент, необходимых для максимальной автоматизации исследований, самих бизнес-процессов и менеджмента;
- единая информационная база и форма представления информации для осуществления информационных технологий управления;
- интерактивный, проблемно-ориентированный (экспертный) характер системы;
- обеспечение НИОКР как составной части инновационной деятельности.

Требования максимального учета социальных аспектов в создании, внедрении и развитии СУ приводили многих исследователей к попыткам создания некоторой обобщенной экономико-социометрической модели бизнеса. В силу сложности производственно-временной организации, многофакторности и стохастичности параметров (входных данных, ограничений и целевых функций оптимизации) бизнеса, эти попытки нельзя считать успешными.

Здесь уместно выражение Р. Декарта (1596-1650): «Расчлените изучаемую вами задачу на столько частей... сколько потребуется, чтобы их легко было решить».

Системный подход требует учета всех или большинства, или, наконец, наиболее важных аспектов бизнес-процессов. Для практического решения сложной задачи управления предлагается использовать широко известный метод аппроксимации: на коротких периодах тактового управления решаются линейные детерминированные варианты задач, на которые разделена общая функциональная задача; сшивая эти решения, мы получаем общий результат, качество которого практически не хуже, а, наоборот, значительно выше.

В системах оперативного менеджмента (СОМ), в основу создания которых положен системный подход и имитационное моделирование, были учтены подходы, требования и соображения, изложенные в данной статье. В [2, 3] представлены способы, модели и методы мониторинга информационного пространства для осуществления упреждающего управления как одного из эффективных видов менеджмента. Многолетний опыт эксплуатации и развития этих систем на предприятиях различных отраслей показал эффективность системного подхода на всех стадиях создания и жизнедеятельности этих СУ, обеспечивающих реальный социальный и экономический эффект.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Агошкова, Е.Б. Эволюция понятия системы / Е.Б. Агошкова, Б.В. Ахмебинский // *Вопр. философии*. -1998. -№7. -С. 170-179.

2 Ситников, С.Г. Системы оперативного менеджмента диверсифицированных предприятий / С.Г. Ситников. -Новосибирск: Наука, 2008. -208 с.

3 Винокуров, С.Г. Модели и методы оперативного менеджмента / С.Г. Винокуров. -М.: Экономика, 2007. -224 с.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* оперативный менеджмент, стабильность экономики, кризисная ситуация, эффективность систем управления

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* Ситников Сергей Георгиевич, канд. техн. наук, профессор, ректор ГОУ ВПО «СибГУТИ»  
*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:* 630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, ГОУ ВПО «СибГУТИ»

## **СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТА КАК СИСТЕМЫ АНТИКРИЗИСНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

**С.Г. Ситников, Е.В. Попантопуло, Н.Г. Репина**

### **OPERATIVE MANAGEMENT SYSTEMS AS SYSTEMS OF CRISIS-PROOF MANAGEMENT**

«Siberian state university of telecommunications and information sciences»

S.G. Sitnikov, E.V. Popantonopulo, N.G. Repina

This abstract surveys operative management systems as effective systems of crisis-proof management and cites the generalized model of operative management of a socioeconomic system.

Мировой экономический кризис коснулся и России и приостановил переход экономики от стадии выживания к «догоняющему развитию», что требует выработки «пожарных» мер для выхода из сложившейся кризисной ситуации. В данной статье предлагаются системы оперативного менеджмента в качестве эффективных систем антикризисного управления.

Смена общественно-политического строя, демократизация общества, практические шаги в оздоровлении экономики и внешнеэкономической деятельности (ВЭД) предопределили подъем России «с колен», равноценное, взаимовыгодное участие нашей страны во всех сферах международных взаимоотношений. Однако, экономический кризис коснулся и России и приостановил переход экономики от стадии выживания к «догоняющему развитию», что требует выработки «пожарных» мер для выхода из сложившейся кризисной ситуации.

Основным системообразующим звеном многоотраслевой диверсифицированной экономики являются промышленные предприятия, каждое из которых является сложной социально-экономической системой (СЭС), входящей в СЭС более высокого (корпоративного) уровня, которая, в свою очередь, является компонентой отраслевой (региональной) СЭС, которая, в свою очередь, входит в СЭС государственного национального уровня. Последняя может рассматриваться как компонента мировой СЭС (рисунок).

Здесь необходимо отметить некоторые требования к системной иерархии, вытекающие из особенностей текущего момента: **использование оперативного менеджмента и упреждающего управления.**

Сегодня на всех уровнях иерархии актуализируется проблема оперативного менеджмента для принятия «пожарных» мер в условиях острейшего дефицита времени и ресурсов.

В результате эволюции, совершенствования и развития систем оперативного менеджмента (СОМ) были теоретически обоснованы и представлены концепции создания и развития, а также инструментарий реализации этих СУ с использованием упреждающего управления [1-4]. Кроме того, с учетом требований концептуальной однородности, была реализована идея переноса методов оперативного менеджмента производственно-коммерческой деятельности предприятия (ПКДП) на решение задач корпоративного уровня [3, 4].

**Маркетинговый подход в построении СУ.** Устойчивость СЭС, представленных на рисунке 1 может быть обеспечена только при условии устойчивости всех компонент, которые также являются системообразованными. Поэтому для выхода из кризиса нужны консолидированные усилия мирового сообщества, использование достижений научно-технического прогресса во всеобщее благо, нужны компромиссы в политической, военной, экономической и других сферах деятельности.

В современных условиях все более приоритетным становится маркетинговый подход в построении СУ предприятиями с использованием ресурсосберегающих технологий и новых информационных технологий управления. Многие отечественные и зарубежные исследователи менеджмента и маркетинга пытаются выработать их сущностные характеристики как экономических категорий. Однако, и сегодня, в начале XXI века нет единой позиции по этим вопросам во многих сферах деятельности.

У микроэкономического маркетинга имеется несколько субкатегорийных параметров, определяющих его суть. Целями маркетинга как научной дисциплины является исследование проблем и выработка рекомендаций (исходных данных) для организации производства, создания наиболее благоприятных условий обмена на конкурентных рынках и соблюдения баланса интересов производителей и потребителей товаров и услуг.

При исследовании концепций маркетинга необходимо учитывать влияние национальной культуры, менталитета, традиционной культуры и быта потребления на производственно-хозяйственную деятельность предприятий. В прямой зависимости от степени учета этих факторов находится эффективность внутренней и ВЭД хозяйствующих субъектов.

Вопросы и сама постановка ВЭД решаются на корпоративном и даже на государственном уровне и, с нашей точки зрения, в первую очередь определяются международным маркетингом как обобщающей функцией международного менеджмента. В нашем сегодняшнем понимании – это добротная методологическая и практическая база эффективной деятельности предприятий на микроэкономическом уровне с выходом на международные рынки.

Системность, интегративный междисциплинарный характер СУ позволяют сделать прагматичный вывод о том, что маркетинг как один из аспектов деятельности предприятий также нуждается в управлении, как и остальные аспекты. Однако, здесь имеется некоторая особенность: конечной целью жизнедеятельности предприятия является выпуск продукции, реализация которой на рынке должна приносить прибыль и, что самое важное, – обеспечивать качественное, приоритетное позиционирование предприятия на рынке, обеспечивать конкурентное преимущество. В этом и состоит основное назначение маркетинга. Результаты непрерывного мониторинга и анализа состояний и изменений рынка должны обеспечивать исходными данными принятие решений по номенклатуре, масштабу и качеству выпускаемых товаров.

Основное отличие маркетингового подхода в построении СУ по сравнению с традиционными состоит в интеграции (информационной, экономической, технологической, технической) отдельных аспектов движения и преобразования материальных и информационных ресурсов в единую сквозную СУ для оптимизации бизнес-процессов и получения синергиче-

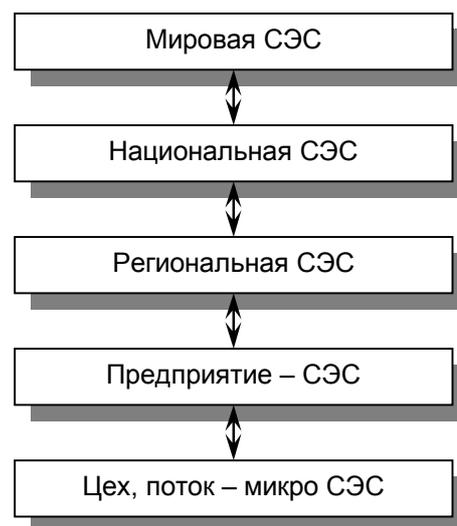


Рисунок – Иерархическая модель мировой экономики

ского эффекта.

Целевой модельный комплекс (ЦМК) СОМ как концептуальная модель предметной области оперативного менеджмента построен именно по принципу маркетингового подхода к созданию СОМ с использованием упреждающего управления. В ЦМК введена упреждающая информационно-сигнализирующая система (УИСС) и представлены модели оперативного менеджмента ПКДП, обеспечивающие эффективное решение задач этой основной составляющей деятельности предприятия.

С этих позиций внедрение современного логистического менеджмента на предприятии обеспечивает: сокращение запасов и связанного капитала, высокую готовность товара к поставке, сокращение времени выполнения заказа и повышение его качества, повышение гибкости производства, снижение себестоимости продукции, ускорение оборачиваемости капитала. Это гарантирует снижение себестоимости продукции и улучшение качества поставок – решающего конкурентного преимущества в условиях российского рынка.

Цель логистического процесса формулируется основным правилом логистики – правилом «7R»: нужный товар (right product) необходимого качества (right quality) в необходимом количестве (right quantity) должен быть доставлен в нужное время (right time) и в нужное место (right place) нужному потребителю (right customer) с требуемым уровнем затрат (right cost). Несоблюдение хотя бы одного из приведенных условий может привести к потере клиентов и, соответственно, определенной доли рынка. Осуществление оперативного менеджмента МТО является дежурной задачей для осуществления синхронной работы всей цепочки «МТО-производство-сбыт».

Представляется, что при тщательном исследовании специфики и информационной базы более высоких уровней модели рисунка 1, могут быть сконструированы модели и получен инструментарий реализации СОМ для этих высших уровней иерархии. С этих позиций целесообразно сконструировать некоторую обобщенную «производственную» модель оперативного менеджмента СЭС. Декомпозиция этой модели «сверху вниз» позволит создать инструментарий реализации СОМ СЭС соответствующих уровней. На практике разработчики СОМ [1-4] шли обратным путем «снизу вверх»; результаты, полученные при этом, и концептуальная однородность СОМ определяют создание обобщенной модели.

**Обобщенная модель оперативного менеджмента социально-экономической системы.** Входные данные:

– множество наборов идентификационных (например страна, отрасль, корпорация, завод, цех, изделие), технологических и потребительских характеристик продукции

$$M \in m = \{m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_n\},$$

где  $1 \leq m_i \leq m'_i$ ,  $m'_i$  – количество  $m_i$ -х характеристик в наборе (например, количество заводов, предприятий в корпорации, количество цехов в заводе, производящих данное изделие);

$n$  – количество наборов характеристик;

– множество видов ресурсов (материальных, финансовых, трудовых, информационных и др.), необходимых для производства продукции с  $m$ -ми характеристиками

$$R \in r = \{r_1, r_2, \dots, r_j, \dots, r_k\},$$

где  $1 \leq r_j \leq r'_j$ ,  $r'_j$  – количество ресурсов каждого вида;

$k$  – количество видов ресурсов.

Обозначим:

$P(m)$  – плановый объем выпуска  $m$ -ой продукции на текущий момент времени (в масштабе реального времени – МРВ);

$P^k(m)$  – плановый объем выпуска продукции на конец отчетного периода (квартал, полугодие, год);

$X(m)$  – фактический объем выпуска продукции в МРВ;

$X^k(m)$  – фактический объем выпуска продукции на конец отчетного периода;

$R_j(m)$  – фактический расход ресурсов в МРВ;

$R(m)$  – ресурсный запас, имеющийся у производителя в МРВ для производства  $m$ -ой продукции;

$\Delta X(m)$  – предельно-допустимая в МРВ величина отклонения «факта» выпуска продук-

ции от «плана»;

$\Delta X^*(m)$  – сигнальная в упреждающей информационно-сигнализирующей системе (УИСС) величина отклонения «факта» от «плана»;

$L$  – прибыль от реализации продукции.

Примем

$$\sum_{m_1}^{m_1'} \sum_{m_2}^{m_2'} \dots \sum_{m_i}^{m_i'} \dots \sum_{m_n}^{m_n'} = \sum_M ; |\Delta X(m)| \geq \Delta X^*(m).$$

*Ограничения модели:*

– по объему текущего в МРВ выпуска продукции  $\sum_M X(m) \geq P(m)$ ;

– по объему выпуска продукции на конец отчетного периода  $\sum_M X^k(m) \geq P^k(m)$ ;

– ограничения  $\left| P(m) - \sum_M X(m) \right| \geq \Delta X(m)$ , что является условием срабатывания УИСС об отклонении «факта» выпуска продукции от предельно-допустимого значения;

$\left| P(m) - \sum_M X(m) \right| \geq \Delta X^*(m)$ , что является условием сигнализации УИСС о приближении «факта» выпуска продукции к предельно-допустимому значению;

– по ресурсному обеспечению  $\sum_M R_j(m) \geq R(m)$ .

*Целевые функции:*

– ритмичность выпуска продукции  $|P(m) - X(m)| \rightarrow 0$ ;

– выполнение плана выпуска на конец отчетного периода  $|P^k(m) - X^k(m)| \rightarrow 0$ ;

– оптимизация прибыли  $L \rightarrow opt$ .

Необходимость гибкой диверсификации на всех уровнях для обеспечения синергического эффекта также находит отражение в модели.

Сырьевой характер российской экономики и взлет мировых цен на углеводороды в последние годы позволили создать мощный стабилизационный фонд, но в то же время породили некоторую успокоенность руководства и общества. Грянувший кризис заставляет искать те самые «пожарные» меры, которые позволят преодолеть проявления и последствия кризиса.

Концепция упреждающего управления требует непрерывного мониторинга, анализа мирового экономического информационного пространства и обнаружения сигналов о возможных угрозах, оперативного

моделирования и реализации упреждающих регулятивных мер для нивелирования прессинга мирового кризиса.

Руководство страны принимает меры для поддержки национальной экономики, вкладывая огромные средства в финансовую сферу. Продуктивное использование этих средств требует жестких мер для блокирования проявлений «российского экономического менталитета», агрессивность которого очевидна.

Одними из высокоэффективных мер в подобных ситуациях, как показывает опыт многих стран, являются:

– новая кадровая политика в высшем и региональном управлении, отказ от клановых установок в формировании чиновничьего аппарата на всех уровнях;

– повышение социальной ответственности власти, бизнеса и менеджмента;

– привлечение к активной жизнедеятельности по контролю и управлению экономикой в качестве экспертов и непосредственных исполнителей специалистов-практиков.

Одной из наиболее результативных форм антикризисного управления, проверенных многолетней практикой, являются СОМ с использованием упреждающего управления, позволяющего не допускать, упреждать появление сбойных ситуаций, в отличие от традиционных «post factum». Методологические и инструментальные основы упреждающего управления показаны в [3, 4].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Винокуров, Г.З. Микропроцессорные системы управления в легкой промышленности / Г.З. Винокуров. -М.: Легкопромбытиздат, 1989. -176 с.

2 Винокуров, Г.З. Системы оперативного и упреждающего управления предприятием / Г.З. Винокуров, А.А. Кошкин. -Новосибирск: Наука, 1997. -195 с.

3 Винокуров, С.Г. Модели и методы оперативного менеджмента / С.Г. Винокуров. -М.: Экономика, 2007. -246 с.

4 Ситников, С.Г. Системы оперативного менеджмента диверсифицированных предприятий / С.Г. Ситников. -Новосибирск: Наука, 2008. -206 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *оперативный менеджмент, антикризисное управление, социально-экономическая система, упреждающее управление*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Ситников Сергей Георгиевич, канд. техн. наук, профессор, ректор ГОУ ВПО «СибГУТИ»  
Попантонопуло Евгений Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «СибГУТИ»  
Релина Наталья Геннадьевна, инженер-программист ГОУ ВПО «СибГУТИ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, ГОУ ВПО «СибГУТИ»*

## **ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТА**

Федеральное агентство по государственным резервам (Росрезерв)

**С.Г. Винокуров**

### **FEATURES OF INFORMATION TECHNOLOGIES OF OPERATIVE MANAGEMENT SYSTEMS**

Federal Agency «Rosrezerv»

S.G. Vinokurov

Simultaneously with development of the computerized management systems in all spheres of industrial-commercial, scientific and other kinds of activities there is a search for new information technologies. This paper surveys information technologies of operative management systems.

Одновременно с развитием компьютеризированных систем управления во всех сферах производственно-коммерческой, научной и других видов деятельности идет поиск новых информационных технологий. В данной статье рассмотрены особенности информационных технологий систем оперативного менеджмента.

Особенно отчетливо эффективность применения НИТ проявляется в системах оперативного планирования и управления современными промышленными предприятиями, в которых компьютерная техника, оргтехника и средства телекоммуникаций используются для повышения результативности функционирования всех аспектов предприятия.

В начале 1980-х годов в теории и практике организационного управления НИТ рассматриваются в качестве основного средства автоматизации производства и управления, повышения эффективности предприятия и реализации решений, совершенствования документооборота и т.д. В последующий период (1990-е годы), с повышением вычислительных возможностей и доступности различных ПЭВМ возникла необходимость перехода от автоматизации отдельных, сравнительно несложных процессов (финансово-бухгалтерская деятельность, складское хозяйство и т.д.) к созданию целостных технологических систем обработки данных, в основе которых лежит комплексная автоматизация основных и вспомогательных информационных процессов, удобный доступ, интерфейс конечного пользователя к информационным и вычислительным ресурсам.

В настоящее время происходит пересмотр первоначальных [1] и поиск новых концепций по разработке и развитию современных систем управления (СУ).

Системы оперативного менеджмента (СОМ) как системы управления реального времени, наиболее адекватно отражающие повышенные динамичность, неопределенность и нестабильность изменений внешней среды, требуют использования НИТ как основного аспекта информационного обеспечения инструментария реализации этих СУ [2].

Обозначенные выше вопросы представляют научный и практический интерес; анализ формирования концепций разработок и развития СУ и НИТ позволит определить основные направления исследований в области информатики и систем управления. Необходимо отметить, что универсальных решений в области НИТ быть не может, и в каждом конкретном случае необходим индивидуальный подход. Даже само понятие НИТ до сих пор во многом является дискуссионным; дать точное определение НИТ пока весьма затруднительно потому, что придется определить целую совокупность методов применения большого многообразия периферийной (стандартной и нестандартной) и вычислительной техники, средств

связи и т.д. для генерирования, сбора, обработки, хранения, передачи и представления информации. Особое место здесь занимают нестандартные технические средства, которые необходимо разработать и изготовить в силу специфики предприятий, внедряющих СУ с новыми НИТ, а также в силу невозможности формирования комплексов технических средств (КТС) только за счет стандартных изделий. Попытки комплектования КТС только за счет стандартных микропроцессоров и ПЭВМ оказались неудачными из-за трудности стыковок «вход-выход» и в силу невозможности их использования в «цеховых условиях» и резкого возрастания по этой причине отказов всей СУ. Этот пример говорит о необходимости сбалансированного сочетания аппаратных и программных средств, обеспечивающих НИТ.

В качестве рабочего определения НИТ долгие годы использовалось следующее: «Новая информационная технология – это совокупность внедряемых, «встраиваемых» в системы организационного управления, принципиально новых средств и методов обработки данных, объединяемых в целостные технологические системы и обеспечивающих целенаправленное создание, передачу, хранение и отображение информационного продукта (данных, идей, знаний) с наименьшими затратами и в соответствии с закономерностями той социальной среды, где развиваются НИТ» [3]. Даже беглого взгляда на это определение достаточно, чтобы отметить его архаичность, витиеватость, во многом – неточность и неприемлемость в целом для нашего времени. В целом это определение отражает то «шараханье во тьме», которое сопровождало всю эпопею создания различных (в целом по стране ущербных) АСУ. Мы оставляем читателю возможность подтвердить или опровергнуть наше мнение по этому вопросу.

Данная статья не претендует на рассмотрение широкого спектра проблем НИТ; в ней рассмотрены лишь вопросы, связанные с созданием и развитием СОМ. Однако, СОМ – это междисциплинарная проблема и, таким образом, решения, принятые по НИТ в этих СУ, обладают эффективным механизмом адаптации, что делает возможным их использование в других СУ. Значение НИТ выходит за рамки понимания ее как технологии решения задач управления бизнес-процессами; принципиальное значение НИТ как «безбумажной информатики» [4, 5] состоит в переходе на безбумажный процесс обработки данных, в котором не используются промежуточные носители и резко снижается объем фиксации данных на обычных документах. НИТ предусматривает объединение новых телекоммуникационных систем на базе локальных и распределенных сетей ЭВМ, новую технологию обработки управленческой информации на основе ПЭВМ и специализированных АРМ, новую технологию выработки управленческих решений на основе базы знаний, экспертных систем, имитационного моделирования, предусматривающего различные графические, звуковые и текстовые формы отображения моделируемых бизнес-процессов. Таким образом, применение НИТ в организационном управлении является одним из важнейших направлений развития теории и практики информатики и СУ.

Сегодня меняется отношение к СУ как некоторым «потомкам» АСУ: из последовательного ряда «информационные системы -информационно-поисковые -информационно-советующие» можно говорить как о наивысшем достижении – это «частично информационно-советующие», ибо готовых заготовок на все случаи жизни (особенно при современных многофакторных динамизме и неопределенностях) детерминированных вариантов задач очень не много. В СОМ для ослабления влияния этих негативных факторов предусматривается использование упреждающей информационно-сигнализирующей системы (УИСС) и аппроксимация сложных нелинейных функций управления с помощью минимальных периодов тактового управления [2].

При разработке, внедрении, эксплуатации и развитии любых СУ и особенно СОМ необходимо постоянно учитывать особенности социальной инфраструктуры предприятий и возможные негативные проявления «российского экономического менталитета», например, несанкционированный доступ и использование материальных и информационных ресурсов, организованное сопротивление инновационным процессам, и на этой почве – преднамеренное искажение информации и т.д., что часто приводило к серьезным конфликтным ситуациям и даже к отторжению СУ или их «опасных» (особенно для функционеров теневой экономики) фрагментов.

При внедрении на предприятиях СОМ с использованием НИТ, следует учесть, что автоматизация организационного управления развивается эволюционно и значительно медленнее, чем автоматизация производственно-технологических процессов. Кроме того, нужно ориентироваться не на мгновенную замену сложившейся оргструктуры, а на формирование

сбалансированного сочетания новых и традиционных, проверенных практикой элементов.

Компьютеризация изменяет формы и методы работы предприятий, что, в итоге, приводит к радикальным изменениям их структуры. Однако, изменения проходят не по ранее заданному сценарию, а (особенно в силу высоких динамичности и неопределенности изменений внешней среды) определяются непосредственно в ходе внедрения СУ, подготовки и переподготовки руководителей и специалистов как пользователей СУ. Очень важным здесь является анализ накопленного отечественного и зарубежного опыта в обучении конечных пользователей. Такое важное влияние, которое оказывает система образования, подготовки и переподготовки кадров в качестве инвестиций в «человеческий капитал», приводит к необходимости рассмотрения данного вопроса в окружающей социокультурной среде отечественного и зарубежного бизнеса. Кроме того, подобные исследования позволяют оценить стабильность рынка рабочей силы, ее способность к обучению и степень производительности, отношение к науке, инновационной деятельности и деловому сотрудничеству. Сравнительные с зарубежными рынками данные помогают, например, определить влияние уровня грамотности на освоение новых технологий и установление рыночных связей; велико значение формального образования при наборе персонала и при ведении дискуссий с клиентами и партнерами. Важно также определить, каким образом предприятия осуществляют обучение производственного персонала, а также будущих пользователей СУ.

Здесь весьма положительным является опыт использования учебно-тренажерных программно-технических комплексов (УТ ПТК) СОМ: являясь высокоадекватными микромоделями СУ, они позволяют задолго до внедрения профессионально и психологически подготовить будущих пользователей и, кроме того, вовлекать их в процесс разработки и затем – внедрения СОМ. Это значительно сокращает период адаптации системы и создает предпосылки успешной эксплуатации, развития и получения социально-экономического эффекта [2].

В заключение необходимо отметить, что развитие социально-экономической системы и научно-технического прогресса ведет к развитию НИТ только на основе комплексных междисциплинарных исследований объективных процессов структурного и функционального развития информационной техники и технологии как нового вида коммуникационных систем.

Работы в этом направлении настолько актуальны, сложны и трудоемки, что имеет смысл рассматривать их как самостоятельную предметную область исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Ершов, А.П. Автоматизация работы служащих / А.П. Ершов. -М.: МЦНТИ, 1985.

2 Ситников, С.Г. Системы оперативного менеджмента диверсифицированных предприятий / С.Г. Ситников. -Новосибирск: Наука, 2008.

3 Гриценко, В.И. Методологические проблемы анализа развития информационной технологии / В.И. Гриценко, Б.Н. Панышин. -Киев, 1984. -(Препринт / АН УССР, Ин-т кибернетики ; №84-53).

4 Глушков, В.М. Основы экономики и организации машинной информатики / В.М. Глушков, Ю.М. Каныгин. -Киев, 1984. -(Препринт / АН УССР, Ин-т кибернетики ; №81-12).

5 Глушков, В.М. Основы безбумажной информатики / В.М. Глушков. -М.: Наука, 1982.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** оперативный менеджмент, информационная технология, эффективность, неопределенность, динамичность

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Винокуров Станислав Георгиевич, докт. экон. наук, советник руководителя ФА «Росрезерв»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 109012, г. Москва, пер. Большой Черкасский, 6/7, Федеральное агентство «Росрезерв»

### **ВЛИЯНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ФАКТОРА НА ОБЪЕМЫ ВЫПУСКА ПРОДУКЦИИ**

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный университет экономики и управления-«НИНХ»

**В.И. Мамонов**

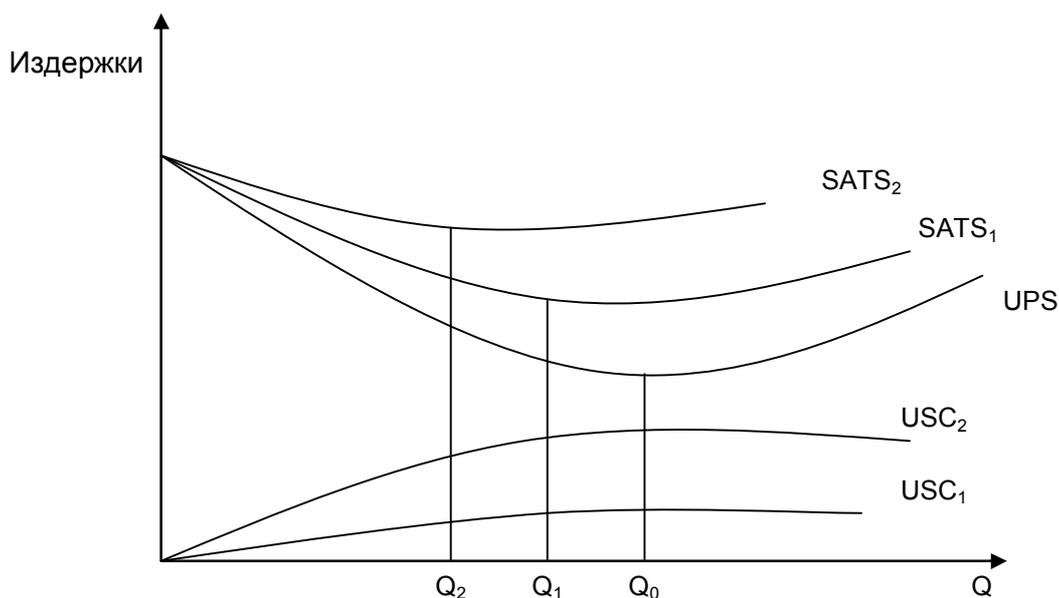
**INFLUENCE OF TRANSPORT FACTOR ON THE VOLUMES OF OUTPUT OF THE PRODUCTION**  
«Novosibirsk state university of the economy and management»  
V.I. Mamonov

The problems of the formation of transport expenses under the conditions of the coordination of price are examined. Are proposed the rules of the behavior of salesmen on the market, which make it possible to level the influence of the factors of transport expenses.

Рассматриваются проблемы формирования транспортных издержек в условиях координации цены. Предлагаются правила поведения продавцов на рынке, позволяющие нивелировать влияние факторов транспортных издержек.

Проблема транспортных издержек, возникающих при доставке продукции потребителям, может иметь разнообразные формы проявления [1]. Прежде всего издержки на доставку продукции могут ограничивать эффект масштаба при увеличении размера предприятия. Транспортные издержки воздействуют на взаимосвязь издержек и масштаба производства в пределах как одного предприятия, так и географически близкого комплекса предприятий. Каждый производитель стремится увеличить свою долю на рынке, что часто сопряжено с необходимостью поставлять продукцию более отдаленным клиентам. Это в свою очередь ведет к увеличению транспортных затрат на единицу проданного товара. Уровень прироста затрат зависит от нескольких переменных. Одной из переменных является отношение размера производства на предприятии к емкости обслуживаемого рынка. Если предприятие является достаточно крупным и имеет конкурентное преимущество перед остальными в смысле географического расположения по отношению к рынку сбыта, то предприятие может значительно увеличить объем продаж без расширения географии сбыта.

Однако, если предприятие не обладает конкурентным преимуществом по месторасположению, то транспортные издержки могут существенно ограничивать размер предприятия. Вторым фактором является метод ценообразования. Транспортные издержки, которые учитывает производитель, возрастают с ростом объема производства в тех случаях, когда уровень цен на рынке будет одинаковым или когда цена на более отдаленных рынках будет уступать конкурентам, обладающими преимуществами месторасположения их производства по отношению к рынкам сбыта. Такие условия имеются у многих предприятий. Третьей переменной является географическая структура транспортных издержек. Обычно фрахтовые тарифы растут медленнее, чем удаленность. Чем меньше скорость роста затрат, связанных с поставкой продукции на дополнительное расстояние, тем слабее транспортные издержки связаны с размером предприятия. В-четвертых, имеет значение география размещения потребителей. Если плотность распределения потребителей достаточно высока, то даже при увеличении их числа и росте объема поставок товара на рынок, транспортные издержки будут возрастать в значительно меньшей степени.



*Рисунок 1 – Воздействие транспортных издержек на объем производства*

Совокупный эффект влияния этих факторов показан на рисунке 1. Предполагается, что возрастающая емкость рынка может быть покрыта как за счет дополнительных поставщиков, так и путем увеличения объема производства на укоренившихся на рынке предприятиях, но расположенных на более отдаленном расстоянии по сравнению с другими продавцами товара. На рисунке 1 *UPS* есть кривая производственных издержек на единицу продукции.

Минимально эффективный объем выпуска из расчета издержек производства соответствует уровню производства  $Q_0$ . Средние издержки доставки  $USC_1$  растут медленно и в сумме с издержками  $UPS$  образуют совокупные средние издержки  $SATC_1$ , определяющие минимально эффективный объем выпуска  $Q_1$ . Если средние издержки доставки растут более интенсивно  $USC_2$ , то сумма производственных и транспортных издержек в качестве минимально эффективного объема выпуска определяет величину  $Q_2$ .

Существует множество подходов к установлению тарифов за перевозку товаров. Достоинством распространенным является подход, называемый системой почтовых марок, при которой для всех покупателей независимо от расстояния от места производства, назначается единая цена доставки. Вариантом этой системы является зонирование, когда покупатели конкретной зоны платят одну цену за доставку. В обоих случаях у производителя появляется возможность распределить высокие транспортные издержки, связанные с доставкой товара более удаленным потребителям. Ценообразование на основе таких систем применяется по отношению к тем товарам, стоимость которых велика по сравнению с транспортными издержками.

При формулировке задачи будем полагать, что функция средних общих издержек является выпуклой функцией, а совокупные транспортные издержки линейно зависят от объема поставки. В целях упрощения формульных записей сделаем предположение о линейности обратной функции спроса; данное допущение целесообразно, поскольку практически не ограничивает содержательную экономическую интерпретацию получаемых результатов. Итак, пусть обратная функция спроса есть

$$P = a - bQ,$$

где  $P$  – цена товара;

$Q$  – суммарный (отраслевой) объем предложения однородного товара (или близких субститутов) на рынке,

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i;$$

$q_i$  – объем товара, предлагаемый  $i$ -м предприятием (поставщиком) на рынок и продаваемый по единой установленной цене;

$n$  – число предприятий, участвующих в удовлетворении спроса на данный товар на рынке.

Из полученного решения следует, что транспортный фактор в виде транспортных издержек оказывает непосредственное влияние на параметры системы: безусловно верным является вывод об уменьшении суммарного выпуска продукции при увеличении транспортных издержек, уменьшении выпуска продукции отдельным предприятием, зависящим также и от индивидуальных условий производства, и росте цены за единицу товара на рынке.

Далее, ближайшей задачей является исследование влияния изменения объемов выпуска продукции в оптимальном плане на отдельном (или нескольких) предприятиях в случае изменения транспортной составляющей общих затрат. Представляет интерес ряд вопросов, на которые необходимо дать ответ: если происходит увеличение транспортных издержек, например  $s$ , на отдельном предприятии, то как при этом уменьшается объем выпуска на данном предприятии и от каких параметров, а также в какой степени это зависит: как уменьшится совокупный выпуск: что произойдет с объемами выпуска на остальных предприятиях-участниках рыночного предложения и, что особенно важно, какими будут результаты функционирования рынка (динамика цены и количества).

Таким образом, вследствие роста транспортных издержек даже на одном из предприятий результаты функционирования рынка ухудшаются: уменьшается объем совокупного предложения (объем продаж), сопровождаемый увеличением рыночной цены и снижением коллективной прибыли.

Если при соответствующих значениях выпуска и цены, коэффициент эластичности спроса по цене больше единицы (взятый по модулю), то есть в данной точке  $(P, Q)$  на кривой спроса товар высокоэластичен, то, уменьшение объема выпуска будет большим, чем в случае, когда при данной цене и объеме выпуска коэффициент эластичности спроса по цене меньше единицы. Таким образом, можно сделать вывод: если при сложившихся на рынке объеме продаж и цене товар является эластичным по цене, то в случае роста транспортных

издержек уменьшение объема выпуска будет тем больше, чем больше рост транспортных затрат и чем выше эластичность по цене. Не приводя доказательства, отметим, что данной ситуации соответствует и меньшая степень компенсации недовыпуска продукции: суммарный выпуск уменьшается в большей степени как абсолютно так и относительно. В данной ситуации возникают дополнительные проблемы: уменьшение прибыли сопровождается потерями от недоиспользуемых мощностей, что заставляет предприятия изыскивать направления снижения как производственных, так и транспортных издержек. Вместе с тем, низкая эластичность, снижающая чувствительность уменьшения объема выпуска от прироста транспортных издержек, свидетельствует о том, что для увеличения совокупной выручки и прибыли цену необходимо увеличивать. Такое правило поведения продавцов на рынке при росте издержек на транспортировку товара вовсе не будет способствовать сокращению уменьшения выпуска.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 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.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* транспортные издержки, координация цен, поведение продавцов

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* Мамонов Валерий Иванович, канд. экон. наук, профессор, проректор по учебной работе ГОУ ВПО «НГУЭУ-«НИНХ»

*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:* 630099, г. Новосибирск, ул. Каменская, 56, ГОУ ВПО «НГУЭУ-«НИНХ»

### **ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ РАСХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРОМЫШЛЕННО-ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**Д.П. Плетнев**

**THE FACTORIAL ANALYSIS OF EXPENSES OF THE ENTERPRISE OF AN INDUSTRIAL RAILWAY TRANSPORTATION**  
«Siberian state transport university»  
D.P. Pletnev

Results of the analysis of expenses of the enterprise are industrially-railway transportation presented. The analysis of interrelations of the cost price with defining factors has been executed with application korrelation regressive models.

Представлены результаты анализа расходов предприятия промышленно-железнодорожного транспорта. Анализ взаимосвязей себестоимости с определяющими факторами был выполнен с применением корреляционно-регрессионных моделей.

Промышленно-железнодорожный транспорт (ПЖТ) является важной составляющей транспортной системы страны.

К основным отличительным признакам ПЖТ по сравнению с магистральным ж.д. транспортом следует отнести: значительную меньшую дальность перевозок, расходы в основном связаны с начальными и конечными операциями и маневровыми работами, проявляются факторы – «сезонность работ» и структура грузов, иной уровень энерговооруженности.

При анализе себестоимости перевозок предприятия, прежде всего, необходимо исследовать взаимосвязи с теми факторами, которые из года в год могут изменяться и существенно влиять на уровень расходов. К ним относятся, прежде всего, объем перевозок и структура грузов.

В качестве объекта исследования была использована информационная база типового предприятия ПЖТ (НСК-2), на котором осуществляется перевозка двух групп грузов с различными тарифами: уголь (Октябрьский участок) и «разнородные грузы» (Дзержинский участок).

Методологический анализ взаимосвязей себестоимости с определяющими факторами нами был выполнен с применением корреляционно-регрессионных моделей [1]. Изменения факторов и расходов рассматривались в течение производственного года и в течение ряда лет.

**Влияние объема перевозок на расходы и расходную ставку.** Для предприятий ПЖТ характерна «сезонная» зависимость объемов перевозок от средневзвешенных значений,

что свидетельствует о взаимосвязи объемов работ со структурой грузов.

Эта зависимость наглядно демонстрируется на примере исследуемого предприятия НСК-2, у которого имеются два участка работ с разными грузами (рисунок 1).

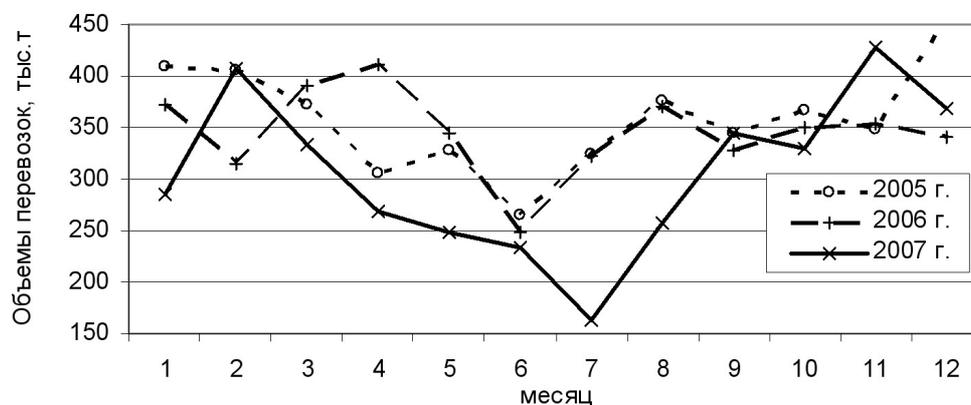


Рисунок 1 – Колебания объема перевозок по годам и в течение года предприятия ПЖТ (НСК-2)

Сопоставляя ежегодные графические зависимости объемов перевозок с колебаниями общих расходов для всего предприятия НСК-2 (см. рисунок 1) следует констатировать, что явной взаимосвязи экономического показателя с величиной грузов не прослеживается.

Корреляционный анализ также не выявляет надежной связи между расходами и объемами перевозок НСК-2 (таблица).

Таблица – Коэффициенты корреляции взаимосвязи расходов, расходной ставки с объемом перевозок и структурой грузов

Предприятие, участки	Год	Показатели корреляции			
		теснота связи		эластичность	
		расходы	расходная ставка	расходы	расходная ставка
НСК-2	2005	0,30	-0,41	0,48	-0,70
	2006	-0,28	-0,61	-0,69	-1,82
	2007	0,20	-0,20	0,49	-0,48
Дзержинский	2005	0,70	0,27	1,49	0,41
	2006	0,40	0,09	1,24	0,22
	2007	0,14	-0,46	0,20	-0,74
Октябрьский	2005	0,32	-0,45	0,45	-0,67
	2006	-0,36	-0,68	-0,82	-2,03
	2007	0,14	-0,26	0,34	-0,66

Наряду с положительными значениями показателей корреляции взаимосвязи «расходы-объемы» для ряда лет наблюдается и обратная зависимость (в 2006 г.). Последнее, видимо, связано с различием темпов изменения расходов и объемов грузов.

Такая ситуация требует внимательного отслеживания этого фактора в случае заметного изменения объемов грузов. Темпы роста объемов перевозок должны опережать темпы роста расходов, чтобы обеспечить экономическую целесообразность увеличения объема работ.

**Взаимосвязь: расходная ставка-объемы перевозок.** Более надежная и ожидаемая взаимосвязь объемов грузов обнаруживается при принятии в качестве экономического показателя – расходной ставки (РС, затраты на перевозку 1 т груза) – аналог себестоимости продукции. Графические зависимости РС в течение производственного года (по месяцам) имеют более выраженную связь с объемом перевозимых грузов (рисунок 2). Наблюдаемые заметные колебания объемов и их «сезонность» отражаются на величине расходной ставки. Увеличение объемов грузов вызывает в той или иной степени снижение РС и, наоборот, их уменьшение приводит к возрастанию расходной ставки. Это проявляется как по отдельным участкам, так и для предприятия в целом.

Безусловно, на колебание РС, кроме объема грузов, оказывают влияния и другие факторы. Например, темпы роста перевозок, производительность труда, резкое возрастание постоянных расходов и т.д. Но тенденция к снижению РС с увеличением объемов проявляется

достаточно явно для всего анализируемого периода (2005-2007 гг.). Наряду с колебаниями РС, обусловленные объемами перевозок, в ряде случаев проявляются экстремальные изменения расходной ставки, вызванные резким увеличением постоянных расходов на выполнение капитального ремонта подвижного состава или пути.

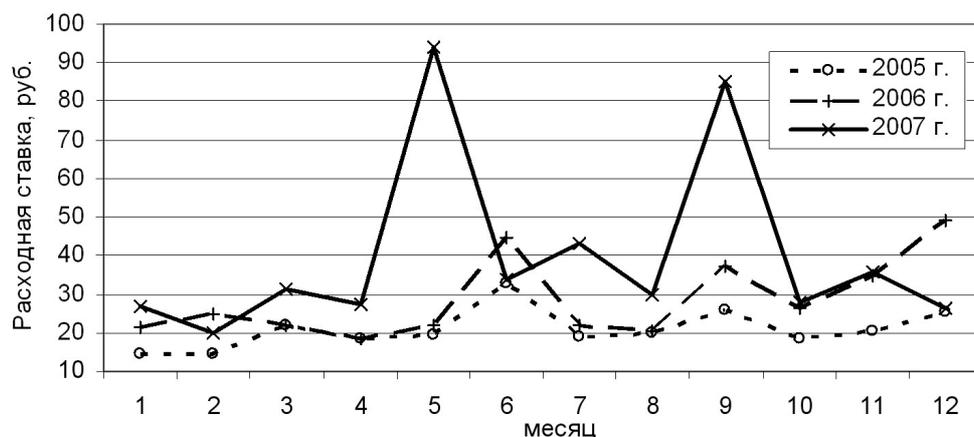


Рисунок 2 – Колебания расходной ставки по годам и в течение года предприятия ПЖТ (НСК-2)

Явную обратную зависимость между РС и объемом перевозок демонстрируют количественные показатели корреляционно-регрессионного анализа (см. таблицу).

В течение 3-х лет для предприятия НСК-2 теснота связи колебалась от -0,20 до -0,61, а коэффициент эластичности изменялся от -0,48 до -1,82.

Таким образом, показатели однофакторного корреляционно-регрессионного анализа однозначно устанавливают существенную обратную зависимость между расходной ставкой и объемом перевозок с одной стороны, с другой – по величине корреляционного параметра можно оценить по годам степень такой взаимосвязи и ее динамику в течение исследуемого периода.

**Влияние объема перевозок на расходы и расходную ставку с учетом структуры грузов.** Структура перевозимых грузов ПЖТ может оказать существенное влияние на степень взаимосвязи их объемов с расходами и расходной ставкой. Это следует из представленных статистических данных (рисунок 3) и результатов корреляционного анализа для разных участков предприятия НСК-2 (см. таблицу).

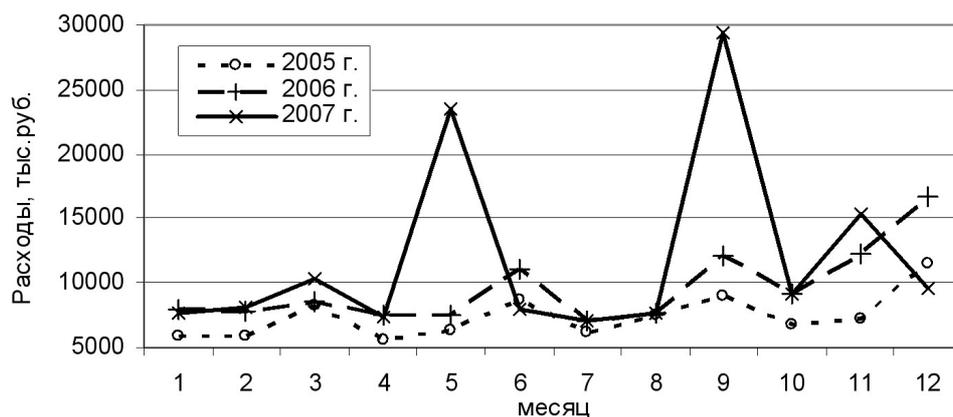


Рисунок 3 – Колебания общих расходов по годам и в течение года предприятия ПЖТ (НСК-2)

Четкая взаимосвязь и ее особенность между объемами перевозок и экономическими показателями – расходами и расходной ставкой прослеживается по результатам корреляционного анализа (см. таблицу). Октябрьскому участку с однородным видом груза присуща ожидаемая прямая зависимость между исследуемым фактором (объемом) и расходами, но по величине не сильная, за исключением 2006 г., когда связь имеет обратный знак с большим значением коэффициента эластичности (-0,82). Для «разнородных грузов» (Держинский участок) показатели корреляции отражают также прямую зависимость анализируемых признаков, при этом коэффициенты эластичности взаимосвязи в 2005-2006 гг. превышали

значение единицы. Это свидетельствует о том, что темпы роста расходов в этот период опережали темпы роста объемов перевозок.

Наблюдаемое различие по влиянию объема грузов на расходы в зависимости от их вида, более четко демонстрируется коэффициентами корреляции между объемами и расходной ставкой. Так, для «низкодоходного» груза – уголь (Октябрьский участок) однозначно является обратная зависимость – с увеличением объемов расходная ставка снижается, при этом в 2006 г. снижение РС за счет увеличения объемов было максимальным.

Иная картина взаимосвязи: объемы – расходная ставка проявляется для другой группы грузов (Дзержинский участок). Расходная ставка в течение 2005-2006 гг. имела тенденцию к возрастанию с увеличением объемов перевозок, что экономически является не приемлемым фактом. Лишь в 2007 г. эта негативная тенденция изменилась в положительную сторону, и коэффициенты корреляции взаимосвязи изменили знак.

Следовательно, результаты корреляционного анализа по влиянию объемов перевозок на расходы и расходную ставку по отдельным участкам (Октябрьский и Дзержинский) предприятия НСК-2 указывают на важную роль двух ранее не учтенных факторов: постоянные расходы и структура грузов.

Коэффициенты корреляции «расходы-объемы» выявили положительную роль фактора «постоянные расходы» на изменение общих расходов на Октябрьском участке. В этом случае темпы увеличения объемов перевозки грузов были выше, чем темпы возрастания общих расходов. В это время роль «постоянных расходов» на Дзержинском участке на изменение общих его расходов была отрицательной (в 2005, 2006 гг.). В этом случае темпы увеличения объемов грузов были меньше, чем темпы роста общих расходов.

Таким образом, структура грузов является дополнительным существенным фактором, который может заметно повлиять на взаимосвязь между объемом перевозок-расходами и расходной ставкой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Рязов, Н.Н. Общая теория статистики / Н.Н. Рязов. -М.: Финансы и статистика, 1984. -343 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *промышленный железнодорожный транспорт, объемы перевозок, расходы, корреляционно-регрессионный анализ*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Плетнев Дмитрий Петрович, старший преподаватель ГОУ ВПО «СГУПС»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»*

### **СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО МАНЕВРИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**А.В. Цевелев**

**SYSTEM OF OPERATIVE MANEUVERING BY MATERIAL RESOURCES ON THE RAILWAY TRANSPORTATION**  
«Siberian state university of transport»  
A.V. Thevelev

The system of operative maneuvering by material resources on the railway as flexible structure of the integrated management of business processes at all stages of life cycle of material support is offered.

Предложена система оперативного маневрирования материальными ресурсами на железной дороге как гибкая структура интегрированного управления бизнес-процессами на всех стадиях жизненного цикла материально-технического обеспечения (МТО).

Одним из направлений в работе Дирекции МТО железной дороги является оперативное управление МТС железной дороги в режиме реального времени. Поиск новых резервов повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта в условиях перехода от «экономики производителя» к «экономике потребителя» и резкого возрастания динамичности современных процессов управления вызывают интенсивное развитие новых форм организации производства и его материально-технического обеспечения.

Современный этап развития экономики характеризуется возникновением и развитием новых хозяйственных отношений, основанных на кооперации производителей, поставщиков

и потребителей с целью интегрированного управления бизнес-процессами на всех стадиях жизненного цикла товаров, работ и услуг на базе современных информационных технологий. Все большее влияние на экономику материально-технического снабжения железнодорожных предприятий оказывают внепроизводственные, то есть, не связанные напрямую с технологическими процессами перевозки, стадии жизненного цикла снабжения, такие как планирование потребности в МТР, организация поставки и складского хранения МТР, распределение и выбытие МТР. Это требует поиска новых резервов повышения эффективности работы органов снабжения железных дорог, основанных на развитии межпроизводственных кооперационных связей и создании единых информационных каналов с поставщиками (формировании логистических цепей поставок МТР), т.е. формирования интегрированных производственно-логистических структур МТО железнодорожного транспорта на принципах взаимовыгодного сотрудничества.

Сложность подобных организационно-технологических структур обуславливает необходимость развития методологического подхода, основанного на системном решении задач повышения эффективности управления МТО в современных экономических условиях. Новые схемы взаимодействия поставщиков-производителей МТР и потребителей железнодорожных предприятий, развитие информационных технологий приводят к созданию новых механизмов управления, кооперации и координации действий с целью консолидации материальных, финансовых и информационных ресурсов [1].

В настоящее время одним из подобных механизмов управления автором предлагается система оперативного маневрирования материальными ресурсами (СОММР) на железной дороге как гибкая структура интегрированного управления бизнес-процессами на всех стадиях жизненного цикла МТО (рисунок 1)



Рисунок 1 – Общая концепция системы МТО железной дороги

Основной экономический потенциал интегрированного управления бизнес-процессами

заключается в повышении оперативности снабжения и снижении затрат на выполнение основных функций и операций за счет автоматизированных информационных систем (АИС), а именно:

- повышения эффективности использования материальных ресурсов на основе согласованного взаимодействия, специализации, координации и организации «сквозных» бизнес-процессов основных участников закупок и поставок МТР;
- ориентации на выполнение индивидуальных заказов линейных предприятий железной дороги;
- сокращения длительности цикла «заявка-поставка-хранение-отпуск»;
- снижения времени на технологические процессы снабжения;
- согласования уровня запасов с процессами производственного потребления;
- повышения скорости реакции на рыночные изменения;
- учет многовариантности продукции и взаимозаменяемости МТР;
- установления доверительных отношений РЖД с предприятиями-поставщиками.

Для построения эффективной СОММР на первых этапах необходимо:

1 Оптимальное организационное проектирование и позиционирование системы как открытой и динамичной.

2 Разработка правил и принципов взаимодействия на различных уровнях (заявка, заказ, планирование, оперативное управление бизнес-процессами, оперативное распределение и доставка МТР до структурных подразделений железной дороги, учет и управление рисками и т.д.).

3 Разработка единого информационного пространства с обратной связью: Поставщик-Железная дорога-Линейное предприятие-Поставщик.

4 Разработка методов, моделей и алгоритмов оптимизации бизнес-процессов для своевременного и бесперебойного МТО РЖД.

На первом этапе работы СОММР предлагается следующая структура СОММР, которая должна быть простой и логически правильно построенной (рисунок 2).



Рисунок 2 – Вариант структуры СОММР на железной дороге

СОММР – это динамичная открытая система управления бизнес-процессами материально-технического обеспечения железнодорожного транспорта, позволяющая объединить и согласовать материальные, информационные, финансовые и сервисные потоки в рамках

единого информационного пространства производства и потребления МТР на начальных и конечных стадиях и этапах жизненного цикла продукции «поставщик - железная дорога» и оперативно реагировать на изменения потребности в МТР структурных подразделений железной дороги.

В данном определении предполагается совместное использование всех преимуществ координации действий с целью снижения затрат по логистической цепочке обеспечения поставок «Поставщик-Железная дорога-Структурное подразделение». Это произойдет за счет интеграции ресурсов и повышения эффективности их использования в рамках развития приоритетных направлений деятельности по соответствующим стратегиям МТО железных дорог. Эффективность процесса оценивается набором показателей, к основным из которых можно отнести своевременность заказа МТР, гибкость производства у поставщика, общая стоимость бизнес-процесса и временные параметры цикла снабжения. Общая схема модели интегрированного информационного пространства СОММП представлена на рисунке 3.

Функциональное ядро СОММП хранит и обновляет данные по поставщикам МТР, управляет оперативной информацией по закупкам и поставкам, работает с поставщиками по бизнес-процессам снабжения и распределяет МТР в рамках Дирекции МТО железной дороги. СОММП предполагает использование гибкости управления бизнес-процессами, расширение пространства поиска решений, наличие множества источников информации, вариантность выполнения процесса снабжения и скоординированность всех действий в режиме реального времени. Естественно это не простая, а сложная многогранная задача, решаемая на железнодорожном транспорте впервые. В части создания методологической основы и предлагается использовать модель СОММП, разделенную на функциональные ядра или модули управления (рисунок 4).

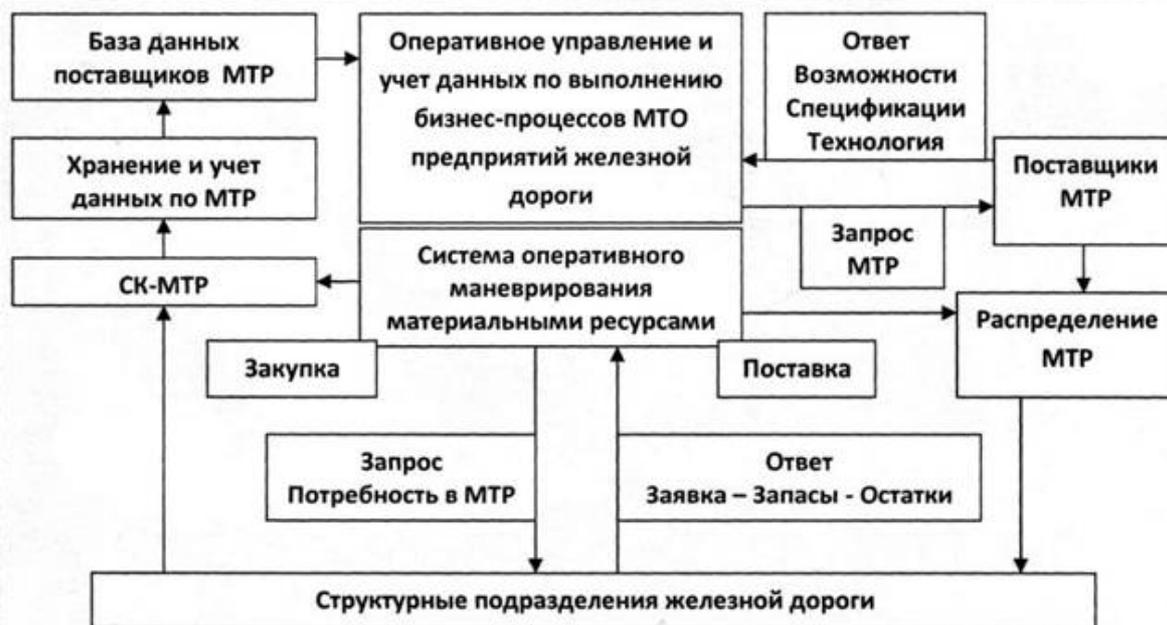


Рисунок 3 – Модель интегрированного информационного пространства СОММП

Основными задачами в данном случае выдвигаются: планирование потребности в МТР, корректировка заявок структурных предприятий в соответствии с бюджетом закупок и запасов, анализ реализации процессов МТС, контроль и внесение оперативных изменений, улучшение бизнес-процессов по меняющимся параметрам системы. Основными блоками системы будут являться: комплексные модели бизнес-процессов, алгоритмы оптимизации, динамическая модель оперативного управления.

Главное требование динамической модели системы оперативного маневрирования материальными ресурсами в рамках отдельной железной дороги – в режиме реального времени сформировать из доступного множества вариантов и моделей бизнес-процессов МТО РЖД, оптимизационных алгоритмов и источников информации наилучшую для выполнения определенной задачи конфигурацию процесса или логистическую цепочку обеспечения по-

ставок МТР.

Предлагаемая динамическая модель будет обеспечивать взаимосвязь координационно-го, коммуникационного и процессного модулей. Коммуникационный модуль – это взаимодействие с поставщиками МТР на железную дорогу, включающий модели бизнес-процессов, бизнес-сценарии выполнения действий и соответствующие им алгоритмы. Координационный модуль – это основа для координации действий участников бизнес-процессов МТО, соответствующих параметрам СОММП. Процессный модуль – это альтернативы вариантов по обеспечению МТР конкретного структурного подразделения железной дороги, их оценка и генерирование предложений по формированию способа выполнения процесса закупки, поставки, хранения и распределения материальных ресурсов. Все входные и выходные данные аккумулируются в функциональном ядре СОММП.

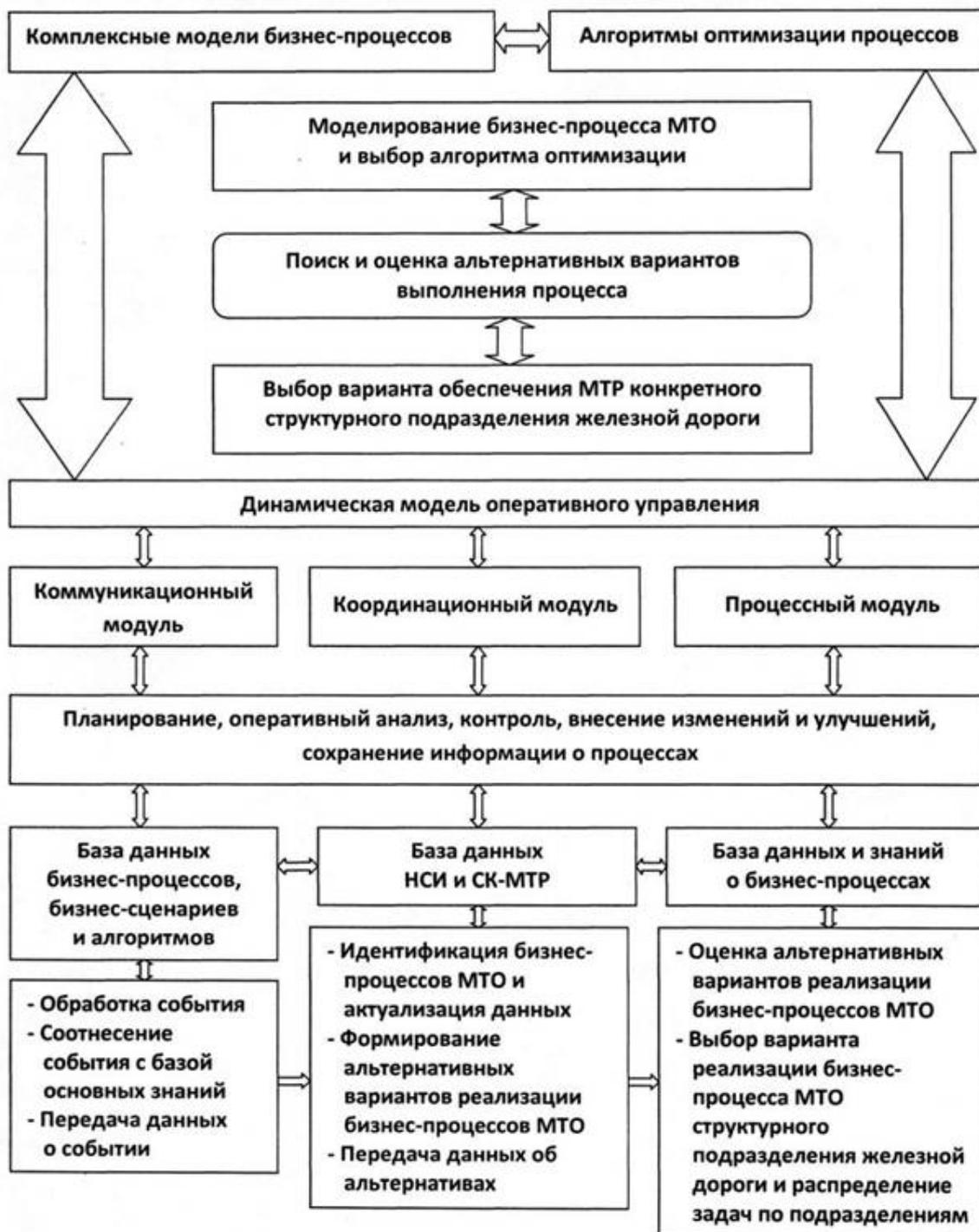


Рисунок 4 – Модули СОММП

Разработанная модель позволяет реализовать все основные функции и задачи системы

МТО на уровне железной дороги и обеспечить состыковку с другими информационными системами РЖД. Этот новый подход к решению вопроса оптимизации работы органов МТО железной дороги позволяет перейти на новый уровень управления, оперативный и динамичный, что является немаловажным в быстроменяющихся экономических условиях и позволяет железнодорожному транспорту оптимально адаптироваться к постоянно происходящим изменениям параметров перевозочной работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Иванов, Д.А. Современные формы интегрированной логистики : виртуальные предприятия и логистические цепи / Д.А. Иванов // Интегрированная логистика. -2004. -№3. -С. 2-8.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* материальные ресурсы, перевозочная работа  
*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* Цевелев Александр Викторович, старший преподаватель ГОУ ВПО «СГУПС»  
*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:* 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

### **ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ИНТЕРЕСЫ СОВРЕМЕННЫХ ГОСУДАРСТВ В ТРАНСПОРТНОЙ СФЕРЕ**

Енисейский филиал ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**Е.П. Леухина**

**INTERESTS OF INTEGRATIONS OF THE MODERN STATES IN THE TRANSPORT SPHERE**  
Yeniseisk branch of «Novosibirsk state academy of water transport»  
E.P. Leukhina

In the modern world development of the regional political and economic systems is possible only due to the states and procedures of international integration, including in a transport sphere.

В современном мире развитие региональных политических и экономических систем возможно только благодаря государствам и процедурам международной интеграции, в том числе в транспортной сфере.

Национальные интересы России – это совокупность сбалансированных жизненно важных интересов личности, общества и государства в экономической, внутривнутриполитической, социальной, международной и других сферах. В структуре национальных интересов РФ особое место занимают интересы в области транспорта.

На формирование национальных интересов Российской Федерации в транспортной сфере большое влияние оказывают с одной стороны положение России в мировом сообществе и основные тенденции в развитии международных отношений на современном этапе, с другой – внутривнутриполитическая обстановка в стране, задачи экономического и социального развития, непосредственно нацеленные на реализацию социально-политических и геополитических интересов и приоритетов государства.

В.С. Коев в своих трудах отмечал, что идеал мирового порядка представляет собой динамическое равновесие [1]. В условиях современного развития мира такое равновесие поддерживает глобализация мировой экономики.

Сегодня ни одно государство, каким бы мощным оно не было, не может успешно функционировать и развиваться, независимо от остального мира. Успех сопутствует тем странам, которые осознанно, грамотно и динамично интегрируются в мировую экономику.

Транспортный сектор является важнейшим элементом эффективной интеграции страны в мировую экономику. Необходимым условием успешной интеграции является качественное развитие транспортного комплекса, способное обеспечить существенное повышение его конкурентоспособности, оптимальные транспортные условия для реализации внешнеэкономических функций России; привести к повышению конкурентоспособности экономики, к формированию конкурентоспособных международных транспортных коридоров.

Конкуренция в мировой экономике нарастает и обостряется, в том числе, в транспортной сфере. Ряд стран с высокоразвитой экономикой пытаются вытеснить Россию с традиционных транспортных рынков и отсесть от новых. В этих условиях Россия должна использовать свои огромные преимущества, которые дает уникальное расположение ее территории на Евразийском континенте (по территории России пролегает кратчайший путь между двумя

континентами).

Необходимо дальнейшее развитие интеграционных процессов в деятельности государств мира, в совершенствовании международно-правовых основ регулирования их транспортной деятельности, достижение глобального консенсуса и партнерства в рамках всего мирового сообщества.

В настоящее время обсуждается создание международной структуры (объединяющей государства мира), обладающей необходимыми правовыми инструментами, которые могли бы обеспечить эффективность транспортной деятельности государств в глобальном масштабе. При этом предполагается, что государства (с учетом согласованности своих национальных интересов) могут передать часть своих функций наднациональным структурам путем создания специального органа, определив его положениями всеобщей транспортной Конвенции (ВТК).

Огромную роль в осуществлении интеграционных процессов в области транспорта играют международные организации по вопросам экономического сотрудничества (ОЭС, ОАТЭС, ШОС и др.), а также программы («Партнерство ради мира»), соглашения о партнерстве и сотрудничестве с Европейским союзом и др., Государствами разработаны положения о различных формах и механизмах взаимоотношений по созданию совместных предприятий в сфере транспорта, о совершенствовании различных видов транспортных средств, используемых в международных перевозках. Большое внимание уделено совершенствованию и сближению транспортного, пограничного и таможенного законодательства государств, созданию режима наибольшего благоприятствования грузоотправителям, снижению транспортных тарифов, усилению охраны грузов, модернизации транспортных магистралей и др.

На Каспии и в черноморских портах созданы условия для формирования комплексной инфраструктуры, необходимой для осуществления межконтинентальных транспортных перевозок. В западноевропейском направлении существенным элементом транспортной инфраструктуры являются автомобильные дороги (маршруты), пересекающие указанные регионы (от грузинских портов), через азербайджано-туркменские порты, далее до Казахстана, образуя основу Евро-азиатского транспортного коридора (ЕТК), линия которого в состоянии достигнуть китайско-афганских границ.

Еще в сентябре 1998 году в Баку на международной конференции «Реабилитация исторического Шелкового пути» представителями 12 государств было заключено Соглашение «О международном транспорте по развитию коридора Европа-Кавказ-Азия», целью которого является регулирование международных грузовых и пассажирских перевозок между заинтересованными государствами, а также транзитные перевозки через их территорию. Данное Соглашение предусматривает согласованное развитие транспорта в регионах Европы, Кавказа, Азии, а также Черного и Каспийского морей; содействие доступу к международному рынку автомобильного, авиационного и железнодорожного транспорта, торгового судоходства; помощь в перевозке грузов и пассажиров, транспортировке углеводородных продуктов; гармонизацию транспортной политики и правовых рамок в сфере транспорта; создание условий для добросовестной конкуренции между видами транспорта и др. Особо подчеркнута, что каждое государство предоставляет другим участникам Соглашения право транзита и обеспечивает наиболее эффективную его организацию, что одновременно не должно затрагивать иных международных обязательств сторон Соглашения.

В декларации конференции сказано: «Стороны подчеркивают значение транспортного коридора Европа-Кавказ-Азия в контексте международного сотрудничества для развития стран региона Каспийского моря и Центральной Азии и выражают готовность предоставлять этим странам свободный доступ к морским портам. Отмечая особую роль и место региона в формирующейся архитектуре евроазиатской интеграции, стороны высказались за поддержку усилий стран региона, направленных на более тесную интеграцию в международную торговую и транспортную системы, и за расширение сотрудничества в области реабилитации и оптимизации существующих, инициирования и содействия созданию новых экологически безопасных и экономически выгодных транспортных инфраструктур для транспортировки грузов, в том числе энергоносителей, на мировые рынки».

Программой Евросоюза – ТАСИС инициированы и разрабатываются широкомасштабные проекты типа ТРАСЕКА, который охватывает векторы движения с Запада на Восток, от политики к экономике (и наоборот). В «Бакинской декларации» особо заявлено о поддержке инициатив и усилий по развитию коридора ТРАСЕКА, а также решимости Евросоюза проводить меры по реализации этой программы. К участию приглашены все государства, желаю-

щие способствовать этой программе и с этой целью сотрудничать и осуществлять партнерство с такими международными организациями, как Организация черноморского сотрудничества, Организация экономического сотрудничества, Экономические комиссии ООН по Европе, Азии и по Тихому океану.

Сегодня краеугольным камнем современных транспортных коридоров выступает мультимодальность перевозок. Поэтому при передвижении грузов по схеме Кавказский коридор ТРАСЕКА-Каспийское море-Среднеазиатский коридор ТРАСЕКА каспийские порты становятся узловыми точками транспортного коридора Азия-Кавказ-Европа. На восточном берегу Каспия в рамках проекта ТРАСЕКА будут задействованы казахстанские и туркменские порты.

В возрождении Великого Шелкового пути от Китая до Амстердама усматривается практически полнокровная интеграция стран Закавказья и Средней Азии в мировое сообщество [2], отсекая при этом Россию не только от Средней Азии, и Закавказья, но и от всей мировой транспортной системы.

В свою очередь Россия, используя свое географическое положение и факторы стабилизации экономики внутри страны, ставит своей задачей разработку такого проекта транспортного коридора, который не только превзойдет проект ТРАСЕКА по основным параметрам, но и создаст инновационную прогрессивную модель транспортного пути с учетом мультимодальности перевозок. Преимущество географического положения России дает возможность открыть прямой путь между зонами создания и поглощения мировых грузопотоков, так как трассы российских транзитных коммуникаций действительно соответствуют кратчайшим географическим расстояниям.

Став частью современного глобального мира, Россия получила новые правила игры для развития экономики и территорий. Находясь на перекрестке между глобальными рынками и мировыми центрами силы, а также обладая необходимыми транспортными технологиями, она может сформировать инфраструктурный мост – кратчайший транспортный путь между Европой, Азией и Америкой.

Основой российского транспортного коридора должна стать Транссибирская магистраль, историческая миссия которой заключалась в соединении Азии и Европы и в обеспечении единства государства Российского и ее главенства в Азии и на Дальнем Востоке путем обеспечения бесперебойного скоростного выхода России к Тихому океану, обеспечивавшему как господство в Азии, так и возможность контроля основных транспортных путей [3].

Транссибирский коридор – пример идеально выстроенной транспортной схемы – пока не даёт должных результатов. Сегодня одной из стратегических задач ОАО «РЖД» и Международной ассоциации «Координационный Совет по Транссибирским перевозкам» является максимальное привлечение грузов на Транссиб [3]. Производимая в настоящее время глубокая модернизация железных дорог Восточной Сибири и Забайкалья позволит обеспечить значительный прирост объемов грузоперевозок в сообщении с Китаем. В перспективе, в соответствии со Стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года планируется специализация Транссиба для пропуска специализированных контейнерных поездов и для пассажирского движения. Большое внимание в этой связи уделяется передовой технологии – организации перевозок грузов маршрутными контейнерными поездами.

Кроме того, важной проблемой также является привлечение на ТСМ транзитных грузов между странами дальнего зарубежья. Отсутствуют адекватная реакция рынка на изменение тарифной политики, единый интерес всех участников транспортной цепочки в оптимизации дифференцированного подхода к установлению цен на перевозку и переработку транзитных контейнеропотоков для увеличения объема перевозок через территорию России; сохраняются технические, технологические, экономические, таможенные проблемы (связанные с организацией транзитного контейнеропотока) и др.

Институтом экономики и организации промышленного производства СО РАН разработана Концепция транспортно-географического освоения Сибири и Севера, предусматривающая:

- завершение строительства БАМа и превращение его в звено межконтинентального транспортного моста «АТР-Западная Европа» (Токио-Дублин);
- реконструкцию Транссиба и преобразование его в специализированную магистраль международного класса «Трансазиатская магистраль».

В 2008 г. разработан и одобрен Проект Транспортной стратегии Российской Федерации

на период до 2030 года [4].

Основными задачами Транспортной стратегии в области развития транспорта с учетом мировых интеграционных процессов являются: участие в международных проектах и программах, направленных на развитие межрегиональных, в том числе евроазиатских транспортных связей, развитие международных транспортных коридоров и увеличение масштабов транзитных перевозок; привлечение на наземные транспортные коммуникации (железные и автомобильные дороги) перевозок грузов между странами Азии и Европы, прежде всего на евроазиатские международные транспортные коридоры по направлениям «Восток-Запад» и «Север-Юг».

Достижение цели интеграции в мировое транспортное пространство и реализация транзитного потенциала страны будет означать формирование прочной основы для успешной интеграции России в мировую транспортную систему, расширения доступа российских поставщиков транспортных услуг на зарубежные рынки, усиления роли России в формировании международной транспортной политики и превращение экспорта транспортных услуг в один из крупнейших источников доходов страны.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Cohen, S.D. Geography and Politics in a Divided World / S.D. Cohen. -New York, 1963.

2 Томчин, Г. [Электронный ресурс] - Режим доступа :

<http://www.dialogbv.ru/forum/index.php?showtopic=2/>

3 II Национальный Конгресс 15.02.2008. Транспортная инфраструктура – эффективная стратегия развития.

4 В. Путин одобрил проект транспортной стратегии до 2030 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://top.rbc.ru/society/22/10/2008/255004.shtml>.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *межгосударственная интеграция в транспортной сфере*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Леухина Елена Павловна, старший преподаватель Енисейского филиала ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *660025, г. Красноярск, ул. Якорный переулок, 3, Енисейский филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

## К ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ НА УЧАСТКАХ ПРОТЯЖЕННЫХ ТОННЕЛЕЙ

ГОУ ВПО «Сибирский Государственный университет путей сообщения»

А.А. Гнат

TO ORGANIZATIONS OF CONSTRUCTION RAILWAYS ON THE LINES TUNNEL AREA

«Siberian state transport university»

A.A. Gnat

Requirements to organizations of construction railway at present of lines tunnel and particularities comprassional mechanism for the project.

Сформулированы требования к организации строительства железной дороги при наличии протяженного тоннеля и показаны особенности концессионного механизма реализации проекта.

Железные дороги предназначены для массовых перевозок, обеспечивая достаточно низкую их себестоимость. В то же время по сравнению с другими путями сообщения они отличаются высокой строительной стоимостью (емкостью инвестиций). Особенно характерно это для сибирских новостроек, сооружаемых в сложных природных, инженерных и топографических условиях, в малонаселенной местности, вдали от экономически развитых районов. Наконец, железные дороги как базовая транспортная инфраструктура, создают условия для хозяйственного освоения новых районов и разработки природных ресурсов, обеспечивая важное место страны в глобальной экономике. Не секрет, что масштабное хозяйственное освоение Сибири и Дальнего Востока началось с Транссиба. Широтный пояс экономического освоения вдоль магистрали местами достигает 500-600 км, а на пересечении с судоходными реками и подъездами – и того больше.

Такие особенности железных дорог предъявляют особые требования к каждой строительной программе и к опережающему созданию условий для эффективной ее реализации. Строительная программа должна:

- не допускать прерывание комплексного потока железной дороги по «лучу»;
- не допускать большого разрыва основного строительного потока по трассе и во времени, а также обслуживания строителей и клиентуры на этапах рабочего движения поездов и временной эксплуатации;
- предусматривать относительно равномерное потребление материально-технических, трудовых и финансовых ресурсов;
- обеспечивать опережающую подготовку элементов построочной инфраструктуры и подготовительного комплекса работ по трассе;
- минимизировать омертвление капиталовложений в незавершенном строительстве и др.

Способы и полнота удовлетворения названных требований характеризуют качество решений по организации строительства железной дороги (ОСД). Разработка же эффективной ОСД – очень важная задача. Один из аспектов этой проблемы – преодоление барьерных мест – строительство преградных объектов. Таковыми являются крупные водные преграды, протяженные высокие пойменные насыпи, глубокие перевальные выемки и, особенно, протяженные тоннели.

Отечественная история организации строительства железных дорог на участках преодоления тоннельных переходов содержат немало примеров серьезных негативных последствий. Так, продолжительное строительство тоннелей на Кругобайкальской дороге Транссиба обернулось задержкой с поставкой военных грузов и послужило одной из причин поражения России в 1905 году в Русско-японской войне. Задержка со строительством Северо-Муйского тоннеля на БАМе привела к необходимости строительства однопутного тоннеля вместо двухпутного, к строительству двух железнодорожных обходов (временного и постоянного), к крупному удорожанию строительства линии и к определенной задержке хозяйственного развития района тяготения магистрали [2].

Исторический опыт показывает, что преодоление негативного влияния преградных объектов, при прочих равных условиях, следует искать, прежде всего, в выборе соответствующих схем организации строительства железной дороги на участках преодоления тоннельных

переходов, в поиске определенных, системных и типовых решений по ОСД применительно к различным условиям строительства и тоннелям разных классов сложности и протяженности. Для этого желательно иметь данные о количестве и предполагаемом расположении тоннелей в перспективной схеме строительства железных и автомобильных дорог, а также разработать классификацию тоннелей и условий их создания с позиции организации железнодорожного строительства.

В советское время такие оценки определялись под планы перспективного железнодорожного строительства, которые разрабатывались в 50-60-е годы прошлого столетия. Прежде всего, это был план железнодорожного строительства на 15 лет, разработанный Институтом комплексных транспортных проблем при Госплане СССР. Его структурная детализация по регионам страны осуществлялась Координационными Советами Совнархозов с участием проектно-изыскательских институтов. В Сибири к составлению предложений привлекался Сибгипротранс.

Для первоначального строительства в районах Западной и Восточной Сибири и на ее Северо-Востоке было определено более 40 тоннелей общей протяженностью 49,5 км. Из них 23 тоннеля предполагались длиной 1000 метров и более, а 4 тоннеля в их составе – длиной более 2 км каждый. В последующие годы часть тоннелей были построены. В проекции на железные дороги, определенные в «Стратегии-2030» [1], на территории Сибири предстоит построить не менее 13 тоннелей общей протяженностью около 17 км. Опыт строительства БАМа показал, что прогнозные размеры тоннелей и их общая длина могут быть существенно перекрыты [2].

Возвращаясь к организации строительства железной дороги отметим, что идеальной может считаться такая организация строительства, когда к моменту подхода комплексного строительного потока к барьерному объекту основные работы по строительству тоннеля близятся к завершению и он позволяет пропускать рабочие поезда для обеспечения строительства железной дороги по другую сторону тоннеля. При этом отпадает необходимость в строительстве «открытого» временного либо постоянного железнодорожного обхода, стоимость которого нередко бывает сопоставима со стоимостью тоннеля [2].

Очевидно, что для этого в программе ОСД следует выделять и самостоятельно разрабатывать две программы (подпрограммы) – подготовительного комплекса работ, связанного со строительством тоннеля и программы основного строительства железной дороги. Их координация по временным и организационно-технологическим параметрам может осуществляться методами программно-целевого планирования [3].

В нашем случае возникает необходимость значительного расширения временных инвестиционных рамок организации работ подготовительного комплекса. Главным элементом здесь является заблаговременное устройство автоподъезда к преградному месту. В зависимости от конкретных условий это может быть боковой подъезд (от судоходной реки, существующей сухопутной магистрали и др.) либо построенная со значительным опережением притрассовая построочная автодорога. Ее строительство может быть организовано поэтапным усилением, начиная с автозимника. Наличие круглогодичной дороги (с последующим переводом ее в общесетевую категорию) – ключ к своевременному и успешному строительству тоннеля.

Работы подготовительного комплекса, в особенности по построочной автодороге, могут предусматриваться и в среднесрочных планах экономического развития региона. «Стратегия-2030» ориентирует нас на концессионный (государственно-частного партнерства) механизм реализации транспортных проектов. При этом государство финансирует прежде всего инфраструктурную часть проекта, каковой и являются притрассовая (либо подъездная) автодорога, причалы, логистические объекты.

Разработка комплексного решения выполняется вариантно, включая традиционную схему ОСД. Критерий отбора варианта должен учитывать не только внутривариантные экономические результаты строительства железной дороги, но и последствия в хозяйственном комплексе региона. Методический подход к оценке, сравнению и отбору решений в целом известен – это формирование и координация дисконтированных финансовых потоков [4].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Основные направления стратегии развития железнодорожного транспорта России на период до 2030 года.

2 Байкало-Амурская железнодорожная магистраль. Ч.1. Изыскания и проектирование (по техническому проекту) / гл. ред. В.А. Брежнев. -М., 1990.

3 Организация и методы транспортного строительства / В.Я.Ткаченко [и др.]. - Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2007.

4 Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. - М.: Экономика, 2000.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *тоннели, строительство железных дорог*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Гнат Анастасия Александровна, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»*

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

## **О ПРИБЛИЖЕННОМ ВЫЧИСЛЕНИИ ИНТЕГРАЛА ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ НЕРАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ В ОТКРЫТОМ РУСЛЕ С ПРЯМЫМ УКЛОНОМ ДНА**

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**А.С. Цыганков**

**ABOUT THE APPROACHED CALCULATION OF INTEGRAL FOR A FINDING OF THE DECISION OF THE EQUATION OF NON-UNIFORM MOVEMENT OF WATER IN OPEN CHANNEL WITH A DIRECT BIAS OF A BOTTOM**  
«Novosibirsk state academy of water transport»

A.S. Cygankov

In the given article the integral which finds the appendix in hydraulic calculations at construction of a curve free surface of a stream of water directly by means of summation of converging numbers without use of tables and intermediate interpolation is calculated. Estimations of accuracy of the calculated sums are resulted.

Вычислен интеграл, который находит приложение в гидравлике при построении кривой свободной поверхности неравномерного движения воды в открытом русле непосредственно с помощью суммирования сходящихся рядов без использования таблиц и промежуточных интерполяций. Приводятся оценки точности вычисляемых сумм.

Решение дифференциального уравнения неравномерного движения воды в цилиндрическом русле при осуществлении показательной зависимости между модулями расхода, предложенного Б.А. Бахметевым при соответствующем допущении, сводится к вычислению интеграла [1-3]:

$$\varphi(\eta) = \int \frac{d\eta}{1-\eta^\chi} + C; \eta = \frac{h}{h_0}, 1 > \eta \geq 0, \eta > 1, \quad (1)$$

где  $\eta$  – относительная глубина, представляющая собой отношение глубины потока  $h$  к нормальной глубине;

$h_0, \chi$  – гидравлический показатель русла ( $\chi \geq 2$ );

$C$  – произвольная константа.

Вычисление функции  $\varphi(\eta)$  при различных значениях  $\eta, \chi$  осуществлялось приближёнными методами с помощью разложений её в степенные ряды

$$\varphi(\eta) = \begin{cases} \eta + \frac{\eta^{\chi+1}}{\chi+1} + \frac{\eta^{2\chi+1}}{2\chi+1} + \dots + \frac{\eta^{n\chi+1}}{n\chi+1} + \dots, \eta \in [0, 1), \\ \frac{\eta^{1-\chi}}{\chi-1} + \frac{\eta^{1-2\chi}}{2\chi-1} + \dots + \frac{\eta^{1-n\chi}}{n\chi-1} + \dots, \eta > 1. \end{cases} \quad (2)$$

Результаты вычислений  $\varphi(\eta)$  по формулам (2) сводились в таблицы с определенным шагом по параметрам  $\eta, \chi$ . При выполнении расчетов, использовавших вычисления этих промежуточных значений с помощью интерполяции, снижается точность вычисления интеграла (1).

В связи с этим возникает необходимость вычисления значения функции  $\varphi(\eta)$  для любых параметров  $\eta, \chi$  (из области их допустимых значений) непосредственно с помощью суммирования сходящихся рядов без использования таблиц и промежуточных интерполяций.

Следует отметить, что ряды (2) при значениях  $\eta$  близких к единице сходятся медленно,

при значениях  $\eta = 1$  расходятся. В связи с этим возникает необходимость улучшения сходимости рядов (2), служащих для вычисления функции  $\varphi(\eta)$  при любых  $\eta \neq 1$  и любых  $\chi$ .

В данной работе ряды (2) представляются в виде суммы элементарной функции и некоторого сходящегося степенного ряда, приемлемого для приближенных вычислений  $\varphi(\eta)$  при любых значениях  $\eta$ . Для этого ряда получена оценка его остатка.

При  $\eta \in [0;1)$  и прямого уклона дна русла ( $i > 0$ ) для функции:

$$\varphi(\eta) = \int_0^{\eta} \frac{d\eta}{1-\eta^{\chi}}, \quad (3)$$

справедливо разложение:

$$\varphi(\eta) = \frac{\eta}{\chi^2} \left[ \chi^2 - 1 - \frac{1+(\chi-1)\eta^{\chi}}{\eta^{\chi}} \ln(1-\eta^{\chi}) \right] - \frac{\eta(\chi-1)}{\chi^2} \sum_{k=1}^n \frac{\eta^{k\chi}}{k(k+1)(k\chi+1)} + R_n, \quad (4)$$

которое было получено автором в работе [4]

$$R_n = -\frac{\chi-1}{\chi^2} \cdot \sum_{k=n+1}^{\infty} \frac{\eta^{k\chi+1}}{k(k+1)(k\chi+1)}, \quad (5)$$

где  $R_n$  – остаточный член, (равенство  $\varphi(0) = 0$  получается предельным переходом при  $\eta \rightarrow 0$  и соответствующим доопределением этой функции  $\varphi(\eta)$ ),

Для  $|R_n|$  справедлива оценка

$$|R_n| < \frac{\chi-1}{2\chi^3 n^2} \eta^{(n+1)\chi+1}. \quad (6)$$

При  $\eta > 1$  и ( $i > 0$ ) для функции

$$\varphi(\eta) = \int_{\eta}^{\infty} \frac{d\eta}{\eta^{\chi}-1} = \int_{\eta}^{\infty} \frac{\eta^{-\chi} d\eta}{1-\eta^{-\chi}},$$

справедливо разложение:

$$\varphi(\eta) = \frac{\eta}{\chi^2} \left( 1 + \frac{1-\eta^{-\chi}(1+\chi)}{\eta^{-\chi}} \ln(1-\eta^{-\chi}) \right) + \frac{\chi+1}{\chi^2} \sum_{k=1}^n \frac{\eta^{-k\chi+1}}{k(k+1)(k\chi-1)} + R_n; \quad (7)$$

$$R_n = \frac{\eta(\chi+1)}{\chi^2} \sum_{k=n+1}^{\infty} \frac{\eta^{-k\chi}}{k(k+1)(k\chi-1)}, \quad (8)$$

где  $R_n$  – остаточный член.

Для  $R_n$  справедлива оценка

$$R_n < \frac{\chi+1}{2\chi^3 n^2} \eta^{-(n+1)\chi+1}. \quad (9)$$

Для вывода формулы (7) использовались тождества:

$$\frac{1}{k\chi-1} = \frac{1}{k\chi} + \frac{1}{\chi^2 k(k+1)} + \frac{\chi+1}{\chi^2 k(k+1)(k\chi-1)};$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\eta^{-k\chi}}{k} = -\ln(1-\eta^{-\chi});$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\eta^{-k\chi}}{k(k+1)} = 1 + \frac{1-\eta^{-\chi}}{\eta^{-\chi}} \ln(1-\eta^{-\chi}).$$

Оценки (6), (9) были получены соответственно из выражений (5), (8).

Вычисления функции  $\varphi(\eta)$  (с точностью  $10^{-3}$ ) производились по формулам (4), (7), результаты которых при соответствующих значениях для  $\eta$ ,  $\chi = 2,70$ , занесены в таблицу.

*Таблица – Результаты вычислений  $\chi = 2,70$*

$\eta$	$\varphi(\eta)$	$\eta$	$\varphi(\eta)$	$\eta$	$\varphi(\eta)$	$\eta$	$\varphi(\eta)$
0	0	0,980	1,895	1,15	0,698	2,4	0,138
0,05	0,05	0,985	2,003	1,25	0,537	2,5	0,128
0,25	0,252	0,990	2,155	1,35	0,439	2,6	0,119
0,35	0,356	0,995	2,413	1,45	0,371	2,7	0,112

## ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

Продолжение таблицы

$\eta$	$\varphi(\eta)$	$\eta$	$\varphi(\eta)$	$\eta$	$\varphi(\eta)$	$\eta$	$\varphi(\eta)$
0,45	0,465	1,005	1,914	1,55	0,320	2,8	0,105
0,55	0,584	1,010	1,659	1,65	0,281	2,9	0,098
0,65	0,718	1,015	1,511	1,75	0,250	3,0	0,093
0,75	0,881	1,020	1,406	1,85	0,224	3,5	0,071
0,85	1,106	1,025	1,325	1,95	0,202	4,5	0,046
0,95	1,546	1,030	1,259	2,0	0,193	5,0	0,038
0,965	1,683	1,035	1,203	2,1	0,176	6,0	0,028
0,970	1,742	1,040	1,155	2,2	0,162	8,0	0,017
0,975	1,811	1,045	1,113	2,3	0,149	10,0	0,012

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бахметев, Б.А. Гидравлика открытых русел / Б.А. Бахметев. -М.: Гострансиздат, 1934.
- 2 Чертоусов, М.Д. Гидравлика: спец. курс / М.Д. Чертоусов. -М.; Л.: Госэнергоиздат, 1962. -630 с.
- 3 Чугаев, Р.Р. Гидравлика. Техническая механика жидкости / Р.Р. Чугаев. -Л.: Энергия, 1975. -600 с.
- 4 Цыганков, А.С. Ускорение сходимости функции (ряда) Б.А. Бахметева / А.С. Цыганков // Сиб. науч. вестн. / Рос. акад. естеств. наук, Новосиб. науч. центр «Ноосферные знания и технологии». -Новосибирск, 2005. -Вып. VIII. -С. 144-146.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: русло с прямым уклоном дна, промежуточная интерполяция, оценка точности суммы ряда, интеграл

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Цыганков Анатолий Семенович, канд. физ.-мат. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УСЛУГ ПО УПРАВЛЕНИЮ ЖИЛИЩНЫМ ФОНДОМ

ГОУ ВПО «Байкальский государственный университет экономики и права»

Е.С. Невидимов

METHODS OF ESTIMATING OF SERVICES QUALITY IN HOUSING RESOURCES MANAGEMENT  
Transbaikal institute of railroads «Irkutsk state university of communication»  
E.S. Nevidimov

Methods of estimating of services quality in housing resources management based on SERVQUAL are worked out.

Разработана методика оценки качества услуг по управлению жилищным фондом на базе метода SERVQUAL.

Трактовка понятия «качество услуг» обсуждалась учеными еще до нашей эры. На современном этапе предлагаемые различными научными школами подходы к управлению качеством услуг разнообразны. Многие из них «отправной точкой» принимают соотношение ожиданий потребителя и восприятия полученной услуги. Такая логика актуальна в первую очередь для услуг, качество которых трудно оценить на основании объективных характеристик.

Мерой качества услуги служит степень удовлетворения потребителя, определяемая соотношением стоимости и ценности (потребительской стоимости) услуги. Из данного определения следует

$$\text{Качество} = \text{Удовлетворенность потребителя} = \frac{\text{Ценность}}{\text{Стоимость}}$$

Наиболее значимой, и одновременно наименее разработанной в настоящее время является оценка качества услуг по управлению жилищным фондом. Рост оплаты за ЖКУ сопровождающийся зачастую низким качеством услуг вызывает социальную напряженность в российском обществе.

Установлено, что оценка качества любой услуги предполагает сравнение потребителем уровня личных ожиданий качества услуги с уровнем собственного восприятия качества. Ес-

ли уровень ожиданий потребителя окажется соответствующим уровню воспринимаемого качества услуги или будет ниже его, то потребитель останется удовлетворенным качеством оказанной услуги. Если наоборот, уровень ожиданий потребителя окажется выше уровня воспринимаемого качества услуги, то потребитель окажется неудовлетворенным качеством услуги. При этом возможность целенаправленного воздействия на ожидания и восприятия потребителей услуги ведет к возможности воздействия на результат оценки качества услуги. Измерение и исследование потребительского восприятия качества услуги требует постоянного участия потребителей, согласованных позиций участников процесса оказания услуги относительно стандартов качества услуги.

При разработке методики оценки качества услуг, оказываемых управляющей компанией многоквартирными домами, нами был адаптирован метод оценки качества услуг – SERVQUAL, который достаточно широко используется в работах западных ученых.

Как представляется, современное состояние российского рынка жилищно-коммунальных услуг отличается от рынков других отраслей сферы услуг России, а также от функционирования зарубежного рынка жилищно-коммунального хозяйства (в основном, за счет сравнительно небольшого срока свободного его существования в условиях рыночной экономики), что накладывает отпечаток, в том числе, и на качество предоставления жилищных и коммунальных услуг в России. В этой связи возникает объективная необходимость адаптации существующей зарубежной методики к условиям российской действительности.

Метод SERVQUAL предполагает, что качество услуги — это результат потребительского сравнения своих ожиданий и восприятия по 22 аспектам, сгруппированным вокруг пяти основных критериев качества услуги. Авторское видение определений критериев качества услуг по управлению многоквартирными домами представим в таблице 1.

*Таблица 1 – Основные критерии метода «SERVQUAL» применительно к качеству услуг по управлению многоквартирными домами*

Наименование критерия	Перевод, расшифровка	Авторское определение
TANGIBLES Материальность	«Явственность, осязаемость» – отражает, насколько явственна и осязаема отдача от получаемой услуги. Осязаемые факторы – реальная обстановка, используемое оборудование и внешний вид персонала	Материальность (М) – возможность увидеть современное оборудование, оргтехнику, персонал, наличие и привлекательность информационных материалов об услугах организации
RELIABILITY Надежность	«Достоверность, надежность» – насколько достоверными и надежными представляются потребителю уверения относительно предоставляемой услуги. Надежность – способность надежно и аккуратно предоставить обещанные услуги	Надежность (Н) – способность организации оказать обещанную услугу в срок, точно и основательно
RESPONSIVENESS Отзывчивость	«Ответственность, состоятельность» – как потребитель оценивает степень ответственности, подкрепленной адекватной состоятельностью. Реактивность – готовность помочь клиенту и быстро предоставить ему требуемую услугу	Отзывчивость (О) – быстрое обслуживание и искреннее желание руководства и персонала организации помочь потребителю
ASSURANCE Убежденность	«Уверенность, обеспеченность» – насколько компетентно лицо, осуществляющее услугу. Уверенность – информированность и вежливость персонала и его способность вызвать у клиента доверие к фирме	Убежденность (У) – компетентность, ответственность и уверенность персонала организации
EMPATHY Сочувствие	«Вчувствование, проникновение» – отражает насколько понимаемы нужды потребителя. Эмпатия – забота фирмы о своих клиентах и индивидуальное внимание к каждому из них.	Сочувствие (С) – выражение заботы, вежливость и индивидуальный подход к потребителям.

По методу SERVQUAL основной единицей измерения и исследования качества является коэффициент качества Q.

Таким образом, коэффициент качества Q исчисляется как разница 22 пунктов восприятия и 22 пунктов ожидания

## ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

*Коэффициент качества = Восприятие – Ожидание .*

Подробно изучив все двадцать два аспекта пяти критериев метода SERVQUAL, нами сделан вывод, что критерии этого метода применимы для оценки качества услуг в сфере жилищно-коммунального хозяйства и могут быть использованы для оценки качества услуг предоставляемых управляющими компаниями от лица населения - основного потребителя жилищно-коммунальных услуг.

Установлено, что анализ качества услуг по управлению жилищным фондом можно проводить как по каждому из 22 пунктов отдельно, так и по интересующим группам пяти критериев. Анализ показывает, на какой из пяти критериев качества услуг руководству управляющей компании необходимо срочно обратить внимание, и по каким – дела обстоят хорошо.

В целях исследования потребительского сравнения ожидания и восприятия нами были разработаны анкеты, в которых были отражены коэффициенты качества услуги по управлению многоквартирным домом (таблица 2 и 3).

В анкете рейтинга ожидания респондентам было предложено оценить по семибальной шкале ожидания по двадцати двум коэффициентам качества. Анкетой рейтинга восприятия так же было предложено респондентам оценить по семибальной шкале восприятия двадцати двух коэффициентов качества, сформулированных в отношении конкретной управляющей компании. На основании анкеты рейтинга ожидания и анкеты рейтинга восприятия разработаны критерии оценки качества услуг по управлению многоквартирными домами.

Таблица 2 – Анкета рейтинга ожиданий

Обозначение	Вопрос
O <sub>1</sub>	Оборудование в этих организациях должно быть современным
O <sub>2</sub>	Элементы физического окружения в этих организациях должны быть привлекательными
O <sub>3</sub>	Сотрудники этих организаций должны быть хорошо одеты и опрятны
O <sub>4</sub>	Внешний вид домов и придомовой территории, управляемых организацией должен быть привлекательным
O <sub>5</sub>	Когда эти организации обещают предоставить услугу к определенному сроку, они должны выполнить это обещание
O <sub>6</sub>	Когда у потребителей возникают проблемы, эти организации должны проявлять сочувствие и стремиться успокоить потребителей
O <sub>7</sub>	Эти организации должны иметь надежную репутацию
O <sub>8</sub>	Они должны предоставлять услуги в обещанное время
O <sub>9</sub>	Эти организации должны вести записи и расчеты аккуратно
O <sub>10</sub>	От этих организаций следует ожидать, что они информируют потребителей, когда точно услуга будет предоставлена
O <sub>11</sub>	Со стороны потребителей реалистично ожидать незамедлительного предоставления услуги сотрудниками этих организаций
O <sub>12</sub>	Сотрудники всегда должны испытывать желание помочь потребителям
O <sub>13</sub>	Сотрудники должны незамедлительно удовлетворить экстренные просьбы потребителей даже без письменного обращения потребителя
O <sub>14</sub>	Потребители должны иметь основания для доверия сотрудникам этих организаций
O <sub>15</sub>	Потребители должны чувствовать себя в безопасности (в т.ч. уверенность в сохранности имущества) при общении с сотрудниками этих организаций
O <sub>16</sub>	Сотрудники этих организаций должны быть вежливы
O <sub>17</sub>	Сотрудники должны получать со стороны этих организаций адекватную поддержку для хорошего выполнения своей работы
O <sub>18</sub>	От этих организаций следует ожидать проявления индивидуального внимания к потребителям
O <sub>19</sub>	От сотрудников этих организаций не следует ожидать проявления персонального внимания к потребителям
O <sub>20</sub>	Следует ожидать, что компания предоставит полную и честную отчетность потребителям
O <sub>21</sub>	Следует ожидать, что эти организации ориентированы на интересы потребителей
O <sub>22</sub>	От этих организаций следует ожидать удобных для всех потребителей часов работы

Таблица 3 – Анкета рейтинга восприятия

Обозначение	Вопрос
$B_1$	$N$ имеет современное оборудование
$B_2$	Элементы физического окружения компании $N$ привлекательны
...	...
$B_{22}$	Время работы организации удобно для всех потребителей

Интерпретация и анализ качества осуществляются следующим образом:

- нулевые значения коэффициентов качества свидетельствуют о том, что уровни ожидания и восприятия качественного оказания услуг по управлению жилищным фондом обследуемой управляющей компании совпадают, то есть ожидания жителей подтверждаются;
- отрицательные и положительные значения коэффициентов указывают на несоответствие уровней ожидания и восприятия качественного оказания услуг управляющей компанией: отрицательное значение говорит о том, что уровень ожидания превышает уровень восприятия;
- положительное о том, что уровень восприятия превышает уровень ожидания;
- приближение какого-либо значения коэффициента к нулевому или положительному означает высокое качество услуг по данному критерию;
- удаление в отрицательную сторону - низкое качество услуг по данному критерию.

На основе полученных 22 коэффициентов качества предлагаем методику расчета общего коэффициента качества услуг по управлению жилищным фондом, оказываемых управляющей компанией. Общий коэффициент определяется как среднеарифметическое значение всех 22 коэффициентов качества по формуле

$$Q_{\text{общ}} = [\sum(Q_1 \dots Q_{22})] / 22.$$

где  $Q_{\text{общ}}$  – общий коэффициент качества;

$Q_1, \dots, Q_{22}$  – коэффициенты качества.

Результаты оценки качества услуг по управлению на основе коэффициентов качества должны определять выбор собственником жилищного фонда определенной линии поведения в отношении управляющей компании. Согласно теории менеджмента существуют три типа линии поведения: ничего не предпринимать; устранить отклонения; пересмотреть стандарты.

Рассмотрим, как эти линии поведения должны использоваться собственником жилищного фонда в системе контроля исполнения договора на управление.

**1 Ничего не предпринимать.** Основная цель контроля состоит в том, чтобы добиться такого положения дел, при котором процесс управления качеством действительно бы заставил управляющую компанию функционировать в соответствии с планом. Если сопоставление фактических результатов деятельности управляющей компании со стандартами говорит о том, что установленные цели достигаются ( $Q_{\text{общ}} = 0$ ), то собственник ничего не должен предпринимать, однако необходимо продолжать измерять результаты, повторяя цикл контроля.

**2 Устранить отклонения.** Если управляющая компания не выполняет взятые на себя обязательства ( $Q_{\text{общ}} < 0$ ), то собственник по результатам оценки качества услуг, может осуществить следующие действия:

- снизить размер поощрительной премии;
- применить штрафные санкции за нарушение условий договора;
- снизить размер платежей потребителей за некачественно предоставленные ЖКУ;
- снизить или задержать финансирование из-за невыполнения управляющей компанией условий качественного оказания услуг;
- взыскать с управляющей компании убытки, понесенные собственником вследствие нарушения эксплуатации жилищного фонда и некачественного обслуживания жителей;
- расторгнуть договора на оказание услуг по управлению жилищным фондом данной управляющей компании.

Положительное значение общего коэффициента качества ( $Q_{\text{общ}} > 0$ ) говорит о высоком качестве работы (выше ожиданий жителей) и возможном увеличении управленческого вознаграждения. Поощрительные выплаты и вознаграждения представляют собой эффектив-

ный инструмент воздействия на качество оказываемых услуг по управлению жилищным фондом. Размер и форма поощрительного вознаграждения указывается в договоре на управление, и являются элементами системы экономического стимулирования эффективной работы управляющей компании.

3 *Пересмотреть стандарты.* Часто случается так, что система контроля указывает на необходимость пересмотра стандартов. Если работа управляющей компании часто оценивается «хорошо», то может возникнуть вопрос о возможном занижении стандартов качества управленческих услуг. В данном случае, стандарты необходимо пересматривать в сторону повышения (ужесточения). В противном случае, трудновыполнимые стандарты фактически могут свести на нет стремления управляющей компании по качественному оказанию услуг. Таким образом, система контроля исполнения контракта должна предусматривать возможность пересмотра стандартов (в сторону повышения или понижения) с целью избегания проблем в процессе контроля качества услуг по управлению жилищным фондом.

В конечном итоге, привлечение частных управляющих компаний к управлению жилищным фондом позволит создать конкуренцию на рынке ЖКУ, обеспечит выгоду всем субъектам рынка: управляющим компаниям, организациям по обслуживанию жилья, жителям собственникам жилья.

Для обеспечения эффективной деятельности конкретной управляющей компании необходимо осуществлять мониторинг и оценку качества услуг по управлению. Предлагаемый метод для оценки качества услуг по управлению позволяет использовать результаты оценки качества для выбора соответствующей линии поведения в отношении дальнейших взаимоотношений с данной управляющей компанией.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Каменева, Е.А. Реформа ЖКХ, или Теперь мы будем жить по-новому / Е.А. Каменева. -Ростов н/Д: Феникс, 2005. -348 [1] с.: ил. – (Консультирует юрист).

2 О размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных и муниципальных нужд: федер. закон от 21 июля 2005 г. №94-ФЗ // Рос. газета. -2005. -28 июля. -С. 11.

3 О порядке проведения органом местного самоуправления открытого конкурса по отбору управляющей организации для управления многоквартирным домом: постановление Правительства РФ от 6 февр. 2006 г. №75 // Рос. газета. -2006. -22 февр.

4 Режим доступа: <http://www.wciom.ru>

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *жилищно-коммунальное хозяйство, качество услуг, метод SERVQUAL, рейтинг ожидания, рейтинг восприятия*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Невидимов Евгений Сергеевич, аспирант ГОУ ВПО «Байкальский ГУЭП»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, ГОУ ВПО «Байкальский ГУЭП»*

## СПОСОБ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ СУДНА НА УСТАНОВИВШЕЙСЯ ЦИРКУЛЯЦИИ

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

Д.В. Тарасов

### ANALYTICAL DEFINITION METHOD OF VESSEL'S SPEED AT CIRCULATION

«Volga state academy of water transport»

D.V. Tarasov

In this article, approximate analytical definition method of linear vessel's speed at circulation is stated.

Предложен метод приближённого аналитического определения линейной скорости судна на установившейся циркуляции.

Уравнение продольных сил, действующих на судно при установившемся циркуляционном движении, имеет следующий вид [1]

$$mv\omega \sin \beta = X_p - X_r, \quad (1)$$

где  $m$  – масса судна;

$v$  – линейная скорость центра масс (ЦМ) судна;

$\omega$  – угловая скорость вращения судна относительно вертикальной оси  $z$ , проходящей через его ЦМ;

$\beta$  – угол дрейфа судна;

$X_p$  – продольная составляющая силы, развиваемой движительно-рулевым комплексом (ДРК);

$X_r$  – продольная составляющая сопротивления воды движению корпуса судна.

Сила  $X_p$ , которую развивает ДРК, состоящий из открытого гребного винта и установленного за ним рулём, может быть представлена выражением

$$X_p = z_b P_e (1 - \sin^2 \delta_r) = z_b P (1 - t_{\text{зас}}) (1 - \sin^2 \delta_r). \quad (2)$$

где  $z_b$  – число винтов;

$P_e$  – полезная тяга движителя;

$\delta_r$  – угол перекладки руля;

$P$  – упор движителя;

$t_{\text{зас}}$  – коэффициент засасывания.

Коэффициент засасывания  $t_{\text{зас}}$  может считаться величиной постоянной, зависящей лишь от геометрических характеристик кормовой оконечности судового корпуса в районе выхода гребного вала. Поэтому при известном значении сопротивления воды прямолинейному движению судна коэффициент засасывания может быть подсчитан по формуле

$$t_{\text{зас}} = 1 - \frac{C_{x_0} L T v_0^2}{2 z_b K_1 n_0^2 D_b^4},$$

где  $C_{x_0}$  – коэффициент общего сопротивления воды прямолинейному движению судна;

$L, T$  – расчётные длина и осадка судна;

$v_0$  – скорость прямолинейного движения судна, соответствующая частоте вращения винтов  $n_0$ ;

$K_1$  – коэффициент упора винта при относительной поступи,

$$\lambda_{p_0} = \frac{v_0 (1 - \psi_0)}{n_0 D_b};$$

$D_b$  – диаметр винта;

$\psi_0$  – расчётное значение коэффициента попутного потока, определяемое по данным работы [2].

Следовательно, полезная тяга винта в зависимости от его относительной поступи  $\lambda_p$

может быть представлена в виде

$$P_e = K_1(1-t_{\text{зак}})\rho n^2 D_B^4 = (A_e - B_e \lambda_p - C_e \lambda_p^2)\rho n^2 D_B^4. \quad (3)$$

где  $A_e, B_e, C_e$  – коэффициенты регрессии, получаемые при обработке диаграмм для расчёта открытых гребных винтов [3];

$\rho$  – массовая плотность воды;

$n$  – частота вращения винта.

Относительная поступь гребного винта  $\lambda_p$  рассчитывается следующим образом

$$\lambda_p = \frac{v_x(1-\psi_0)}{nD_B}. \quad (4)$$

где  $v_x$  – продольная составляющая вектора линейной скорости судна.

Сила сопротивления воды продольному движению судна может быть подсчитана по выражению

$$X_r = 0,5C_{x_r} \rho L T v^2, \quad (5)$$

где  $C_{x_r}$  – коэффициент сопротивления воды продольному перемещению корпуса судна.

Для приближённых вычислений можно положить [1]

$$C_{x_r} \approx C_{x_0} \cos^2 \beta - \frac{2\delta B}{R} k'_{22} \sin \beta. \quad (6)$$

где  $\delta$  – коэффициент полноты водоизмещения судна;

$B$  – ширина судна;

$R$  – радиус установившейся циркуляции при переключке руля на угол  $\delta_r$ ;

$k'_{22}$  – коэффициент, подсчитываемый по данным работы [1].

С учётом изложенного уравнение (1) представим в виде

$$\frac{2\delta B}{R}(1-k'_{22})\frac{\text{tg}\beta}{\cos\beta} + C_{x_0} = \frac{2z_e(A_e - B_e \lambda_p - C_e \lambda_p^2)(1 - \sin^2 \delta_r) n^2 D_e^4}{L T v_x^2}. \quad (7)$$

Введём следующие обозначения

$$\frac{2z_e D_e^4 (1 - \sin^2 \delta_r)}{L T} = \bar{S}; \quad A_e \bar{S} = A_s; \quad \frac{B_e (1 - \psi_0) \bar{S}}{D_e} = B_s; \quad \frac{C_e (1 - \psi_0)^2 \bar{S}}{D_e^2} = C_s. \quad (8)$$

Подставив выражения (8) в равенство (7), получим

$$\frac{2\delta B}{R}(1-k'_{22})\frac{\text{tg}\beta}{\cos\beta} + C_{x_0} = A_s \left(\frac{n}{v_x}\right)^2 - B_s \frac{n}{v_x} - C_s, \quad (9)$$

откуда

$$\left(\frac{v_x}{n}\right)^2 + 2b \frac{v_x}{n} - a = 0. \quad (10)$$

В уравнении (10) обозначено:

$$a = \frac{A_s}{\frac{2\delta B}{R}(1-k'_{22}) + C_{x_0} + C_s}; \quad b = \frac{B_s}{2\left[\frac{2\delta B}{R}(1-k'_{22}) + C_{x_0} + C_s\right]}.$$

Выражение (10) позволяет найти соотношение между продольной составляющей скорости судна на установившейся циркуляции и частотой вращения винтов, то есть

$$\frac{v_x}{n} = \sqrt{b^2 + a} - b. \quad (11)$$

Для определения частоты вращения винтов воспользуемся полученным авторами уравнением моментов

$$M_{\text{дв}} = M_c (1 + \theta_r \sin^2 \delta_r). \quad (12)$$

где  $M_{\text{дв}}$  – крутящий момент на валу гребного винта;

$M_c$  – момент сопротивления жидкости вращению винта;

$\theta_r$  – коэффициент, учитывающий отношение площади диска винта, перекрываемой рулём при гипотетической переключке последнего на 90°, ко всей площади диска,

$$\theta_r = \frac{F_\delta}{F_p}$$

Момент сопротивления  $M_c$  определяется известной формулой

$$M_c = K_2 \rho n^2 D_B^5, \quad (13)$$

а коэффициент момента  $K_2$  с использованием диаграмм для расчёта открытых гребных винтов [3] может быть представлен в виде

$$K_2 = A_2 - B_2 \lambda_p - C_2 \lambda_p^2. \quad (14)$$

Для приближённых расчётов крутящий момент  $M_{дв}$  с учётом работы регулятора частоты вращения винта может быть представлен следующим образом

$$M_{дв} = M_{c_0} (1,1 - 0,02\bar{n} - 0,08\bar{n}^2), \quad (15)$$

где  $M_{c_0} = K_{2_0} \rho n_0^2 D_B^5$ ;

$$\bar{n} = n/n_0.$$

Очевидно, что

$$K_{2_0} = A_2 - B_2 \lambda_{p_0} - C_2 \lambda_{p_0}^2. \quad (16)$$

Подставив формулы (13)-(15) в уравнение (12), получим

$$\bar{n}^2 + 2p\bar{n} - q = 0, \quad (17)$$

где  $p = 0,01K_{2_0}/A_K$ ;

$$q = 1,1K_{2_0}/A_K;$$

$$A_K = K_2 (1 + \theta_r \sin^2 \delta_r) + 0,08K_{2_0}.$$

Таким образом, выражения (11) и (17) позволяют определить значения продольной составляющей скорости судна и частоты вращения винтов на установившейся циркуляции.

Для проверки корректности предлагаемой методики были выполнены расчёты относительной скорости

$$\bar{v} = \frac{v_x}{v_0 \cos \beta},$$

теплохода проекта 550А («Волгонепть») на установившихся циркуляциях. При этом использовались результаты натурных циркуляционных испытаний [4], представленные в таблице 1.

*Таблица 1 – Результаты натурных испытаний*

Параметры циркуляции	Угол перекадки рулей						
	5°	10°	15°	20°	25°	30°	38°
$R$ , м	405	275	215	175	150	135	115
$\beta$ , град.	13,5	17,0	19,5	22,0	23,5	25,5	27,5

Результаты расчётов относительных значений  $\bar{v}$  и  $\bar{n} = n/n_0$  представлены в таблице 2.

*Таблица 2 – Относительные значения продольной составляющей скорости судна и оборотов гребного винта*

Параметр	Угол перекадки рулей						
	5°	10°	15°	20°	25°	30°	38°
$\bar{v}$	0,791	0,674	0,587	0,523	0,474	0,436	0,389
$\bar{n}$	0,961	0,939	0,923	0,911	0,901	0,893	0,883

Кроме того, полученные значения относительной скорости  $\bar{v}$  точками показаны на рисунке. Для сравнительной оценки результатов расчёта с результатами, получающимися путём вычислений по эмпирическим формулам, на рисунке представлены кривые вида  $\bar{v} = f(\bar{\omega})$ , где  $\bar{\omega} = L/R$ , построенные с использованием следующих выражений [5]:

1- В.Г. Павленко и О.И. Гордеева  $\bar{v} = 1/\sqrt{(1 + 2,7\bar{\omega}^2)^{2/3}}$ ; (18)

2- А.М. Басина  $\bar{v} = 1/\sqrt{(1 + 3,9\bar{\omega}^2)^{1/2}}$ ; (19)

3- А.Д. Гофмана и В.И. Когана  $\bar{v} = 1 - 0,7\bar{\omega} + 0,122\bar{\omega}^{2,6}$ ; (20)

4- Р.Я. Першица  $\bar{v} = 1/\sqrt{(1 + 1,9\bar{\omega}^2)}$ . (21)

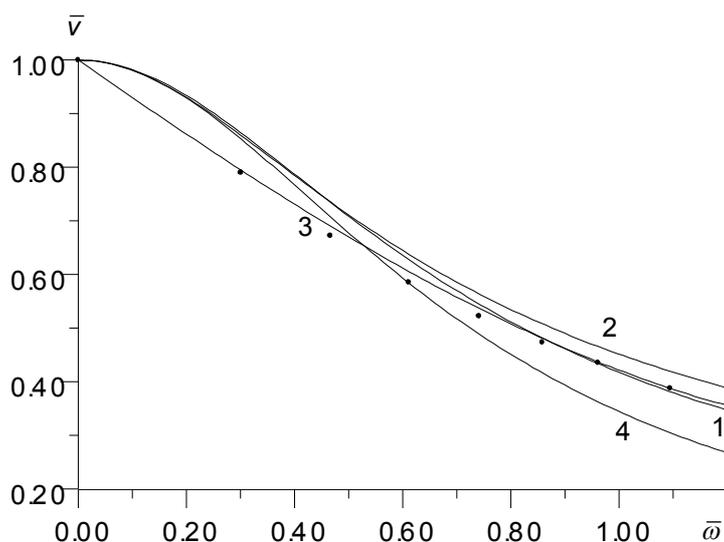


Рисунок – Сопоставление расчетных данных

Удовлетворительная сходимость расчётных и экспериментальных значений величины  $\bar{v}$  позволяет сделать вывод о том, что предлагаемый способ аналитического определения скорости судна на установившейся циркуляции достаточно корректен.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Тихонов, В.И. Основы теории динамической системы судно-жидкость / В.И. Тихонов. - Н.Новгород: ФГОУ ВПО ВГАВТ, 2007. -262 с.
- 2 Басин, А.М. Ходкость и управляемость судов / А.М. Басин. -М.: Транспорт, 1977. -456 с.
- 3 Басин, А.М. Руководство по расчёту и проектированию гребных винтов судов внутреннего плавания / А.М. Басин, Е.И. Степанюк. -Л.: Транспорт, 1981. -352 с.
- 4 Справочник маневренных характеристик судов / МРФ РСФСР. -М., 1989. -319 с.
- 5 Гофман, А.Д. Двигательно-рулевой комплекс и маневрирование судна: справочник / А.Д. Гофман. -Л.: Судостроение, 1988. -360 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: скорость судна, частота вращения винтов, крутящий момент, падение скорости  
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Дмитрий В. Тарасов, аспирант ФГОУ ВПО «ВГАВТ»  
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

## ВЛИЯНИЕ ПЕРЕКЛАДКИ РУЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОТЫ ОТКРЫТОГО ГРЕБНОГО ВИНТА

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

Д.В. Тарасов, В.И. Тихонов

INFLUENCE OF RUDDER TURNING ON OPERATION CHARACTERISTICS OF OPEN PROPELLER  
 «Volga State Academy of Water Transport»  
 D.V. Tarasov, B.I. Tikhonov

In this article, the analysis of open propeller working at vessel's curvilinear movement is presented.

Приведён анализ работы открытого гребного винта при криволинейном движении судна

подавляющее большинство исследований работы системы двигатель-движитель посвящены анализу усилий, развиваемых гребным винтом при прямолинейном движении судна. Результаты таких исследований могут быть использованы либо для расчёта и проектирования гребных винтов [1-6], либо для определения инерционных характеристик судов [7].

Первая попытка исследования работы винтового движителя при переключении рулевого органа в швартовном режиме и на циркуляции была предпринята в 1988-1990 годах С.В. Филатовым [8, 9] и В.В. Бажанкиным [10]. Однако результаты, полученные ими путём тензометрического определения момента и упора гребного винта, носят отрывочный характер, не систематизированы и позволяют лишь качественно судить о работе движителя при

циркуляции судна.

Попытаемся приближённо проанализировать работу открытого гребного винта при криволинейном движении судна, основываясь на известных в теории ходкости положениях.

В случае равномерного прямолинейного движения судна со скоростью  $v$  и частотой вращения винтов  $n$  полезная тяга, создаваемая движительным комплексом, уравновешивается силой сопротивления воды, то есть

$$z_b P_e = R, \quad (1)$$

где  $z_b$  – число движителей;

$P_e$  – полезная тяга винта;

$R$  – сопротивление воды прямолинейному движению судна.

Полезная тяга открытого гребного винта, работающего вблизи корпуса судна, определяется по выражению [1]

$$P_e = K_1 (1 - t_{\text{зас}}) \rho n^2 D_b^4. \quad (2)$$

где  $K_1$  – коэффициент упора винта в свободной воде;

$t_{\text{зас}}$  – коэффициент засасывания;

$\rho$  – плотность воды;

$D_b$  – диаметр винта.

Коэффициент упора  $K_1$  для гребного винта, имеющего вполне определённые геометрические элементы (число лопастей  $z_n$ , дисковое  $\theta$  и шаговое  $H_b/D_b$  отношения), с использованием диаграмм для расчёта открытых гребных винтов [3] может быть представлен в виде зависимости

$$K_1 = A_1 - B_1 \lambda_p - C_1 \lambda_p^2, \quad (3)$$

где  $A_1, B_1, C_1$  – коэффициенты регрессии;

$\lambda_p$  – относительная поступь гребного винта.

Режим работы винта и создаваемые им гидродинамические усилия определяются относительной поступью

$$\lambda_p = \frac{v_p}{n D_b} = \frac{v(1 - \psi_0)}{n D_b}. \quad (4)$$

В формуле (4) под величиной  $v_p$  понимается скорость перемещения винта вдоль своей оси [1], а под величиной  $\psi_0$  – расчётное значение коэффициента попутного потока, определяемого для водоизмещающих судов внутреннего плавания по выражению [1]

$$\psi_0 = 0,11 + \frac{0,16}{z} \delta^z \left( \frac{\sqrt[3]{V}}{D_b} \right)^{0,5} - \psi_w, \quad (5)$$

где  $z$  – величина, равная для винтов, расположенных в диаметральной плоскости  $z = 1$ , и  $z = 2$  – для бортовых винтов;

$\delta$  – коэффициент полноты водоизмещения судна;

$V$  – объёмное водоизмещение судна;

$\psi_w$  – коэффициент волнового попутного потока.

Величина  $\psi_w$  рассчитывается по формуле [1]

$$\psi_w = 0,3\delta(\text{Fr} - 0,2),$$

и учитывается лишь в тех случаях, когда число Фруда  $\text{Fr} > 0,2$

Попытаемся уточнить понятие «коэффициент засасывания». При неработающем винте скоростной напор воды на поверхность корпуса в районе выхода гребного вала из кормовой оконечности, согласно данным работы [11], может быть представлен в виде

$$p_1 = -0,5\rho v_p^2 \cos^2 \bar{q}_p \cos^2 \bar{\gamma}_p, \quad (6)$$

а при работающем

$$p_2 = -0,5\rho (v_p + \omega_a)^2 \cos^2 \bar{q}_p \cos^2 \bar{\gamma}_p. \quad (7)$$

где  $\bar{q}_p$  – среднее значение курсового угла нормали к ватерлинии в районе выхода гребного вала из кормовой оконечности корпуса судна;

$\bar{\gamma}_p$  – среднее значение снижения нормали к поверхности обшивки относительно нор-

мали к ватерлинии в районе выхода гребного вала из кормовой оконечности корпуса судна;

$\omega_a$  – осевая вызванная скорость воды в струе движителя.

Разность скоростных напоров составит величину

$$\Delta p = p_2 - p_1 = -\rho \left( v_p + \frac{\omega_a}{2} \right) \omega_a \cos^2 \bar{q}_p \cos^2 \bar{\gamma}_p. \quad (8)$$

Следовательно, сила засасывания  $\Delta P$ , представляющая собой дополнительное сопротивление воды движению судна, обусловленное работой винтового движителя

$$\Delta P = \Delta p F_p = \rho F_p \left( v_p + \frac{\omega_a}{2} \right) \omega_a \cos^2 \bar{q}_p \cos^2 \bar{\gamma}_p. \quad (9)$$

где  $F_p$  – площадь диска винта.

Поскольку упор винта [1]

$$P = \rho F_p \left( v_p + \frac{\omega_a}{2} \right) \omega_a,$$

то

$$\Delta P = P \cos^2 \bar{q}_p \cos^2 \bar{\gamma}_p. \quad (10)$$

Тогда

$$t_{\text{зас}} = \Delta P / P = \cos^2 \bar{q}_p \cos^2 \bar{\gamma}_p = \text{Const}. \quad (11)$$

Таким образом, коэффициент засасывания  $t_{\text{зас}}$  может считаться величиной постоянной, зависящей лишь от геометрических характеристик кормовой оконечности судового корпуса в районе выхода гребного вала.

Следовательно, при известном значении сопротивления воды прямолинейному движению судна коэффициент засасывания может быть подсчитан по выражению

$$t_{\text{зас}} = 1 - \frac{C_{x_0} L T v_0^2}{2 z_B K_b n_0^2 D_B^4}, \quad (12)$$

где  $C_{x_0}$  – коэффициент общего сопротивления воды прямолинейному движению судна;

$L, T$  – расчётные длина и осадка судна;

$v_0$  – скорость прямолинейного движения судна, соответствующая частоте вращения винтов  $n_0$ ;

$K_b$  – коэффициент упора винта при

$$\lambda_{p_0} = v_0 (1 - \psi_0) / n_0 D_B.$$

Очевидно, что коэффициент полезной тяги  $K_e$  может быть представлен в виде зависимости, аналогичной выражению (3), то есть

$$K_e = K_1 (1 - t_{\text{зас}}) = A_e - B_e \lambda_p - C_e \lambda_p^2. \quad (13)$$

При перекадке руля от нулевого положения на угол  $\delta_r$  симметричность его обтекания струёй движителя нарушается, что приводит к появлению составляющей скорости струи  $\vec{U}_r$  (рисунок 1), усреднённое направление которой может быть принято перпендикулярным к плоскости хорды руля. В результате ось струи винта, согласно постулату Жуковского-Чаплыгина и равенству

$$\vec{U}_\delta = \vec{U} - \vec{U}_r,$$

отклонится от оси гребного вала в ту же сторону, что и руль, на угол  $\delta_r$ .

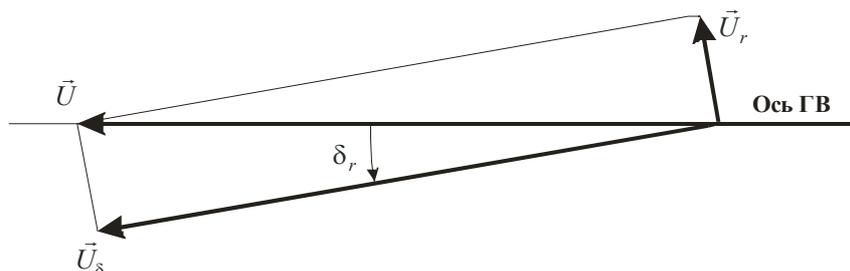


Рисунок 1 – Схема отклонения струи движителя при перекадке руля

Поскольку внешний поток жидкости практически не изменяет направления реакции вытекающей в него под некоторым углом струи [12], то последняя может рассматриваться как бесконечная струя с прямолинейной осью, совпадающей с осью её начального участка.

Для приближённого определения усилий, развиваемых движителем при перекладке руля, обратимся к упрощённой схеме, представленной на рисунке 2. Упор винта  $\vec{P}$  после перекладки руля будет представлять собой сумму двух составляющих: реакции отклонённой струи  $\vec{P}_\delta$  и дополнительной реакции  $\vec{R}_\delta$ , возникающей вследствие натекания части струи на переложённый руль. Применяя векторную формулу закона сохранения количества движения, можем записать

$$\vec{P}_\delta = \vec{P} - \vec{R}_\delta. \quad (14)$$

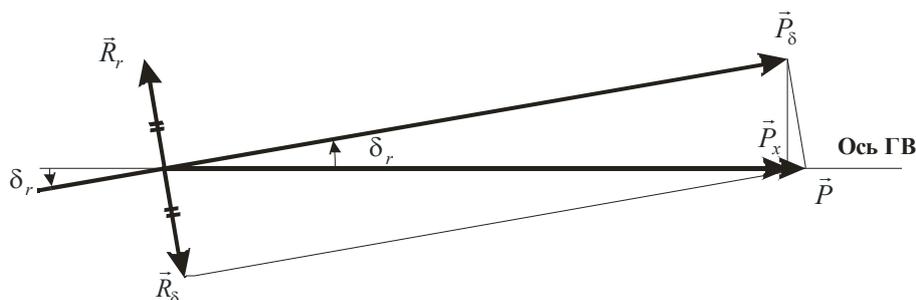


Рисунок 2 – Схема сил, развиваемых движителем при перекладке руля

Необходимо отметить, что на руле возникает сила  $\vec{R}_r$ , равная величине  $R_\delta$ , но противоположно направленная, то есть

$$\vec{R}_r = -\vec{R}_\delta. \quad (15)$$

Проецируя равенства (14) и (15) на диаметральный плоскость судна и плоскость мидельшпангоута, получаем выражения для продольной и поперечной составляющих силы  $P_\delta$ :

$$P_x = P_\delta \cos \delta_r = P(1 - \sin^2 \delta_r); \quad (16)$$

$$P_y = P_\delta \sin \delta_r = P \sin \delta_r \cos \delta_r. \quad (17)$$

Таким образом, после перекладки руля, расположенного в струе движителя, на некоторый угол  $\delta_r$  на кормовую часть корпуса судна через конусы гребных валов будут действовать продольная и поперечная составляющие силы, развиваемой движителями:

$$X_p = z_g P_x (1 - t_{\text{зас}}) = z_g P_e (1 - \sin^2 \delta_r); \quad (18)$$

$$Y_p = z_g P_y (1 - t_{\text{зас}}) = z_g P_e \sin \delta_r \cos \delta_r, \quad (19)$$

а каждый гребной вал при этом будет воспринимать дополнительное усилие

$$Q_x = P \theta_r \sin^2 \delta_r, \quad (20)$$

где  $\theta_r$  – коэффициент, учитывающий отношение площади диска винта, перекрываемой рулём при гипотетической перекладке последнего на  $90^\circ$ , ко всей площади диска,

$$\theta_r = \frac{F_\delta}{F_p}.$$

Увеличение усилия, воспринимаемого гребным валом при перекладке руля, фиксируется тензодатчиками [8-10], но ошибочно трактуется С.В. Филатовым как рост упора вследствие изменения характера кривой  $K_1(\lambda_p)$ .

Подводимая к винту мощность  $N_p$  с учётом выражения (20) может быть представлена в виде

$$N_p = P \left( v_p + \frac{\omega_a}{2} \right) (1 + \theta_r \sin^2 \delta_r).$$

Тогда

$$M_{\text{дв}} = M_c (1 + \theta_r \sin^2 \delta_r), \quad (21)$$

где  $M_{\text{дв}}$  – крутящий момент на валу гребного винта;

$M_c$  – момент сопротивления жидкости вращению винта.

Момент сопротивления  $M_c$  определяется известной формулой

$$M_c = K_2 \rho n^2 D_b^5, \quad (22)$$

а коэффициент момента  $K_2$  с использованием диаграмм для расчёта открытых гребных винтов [3] может быть представлен в виде, аналогичном зависимости (3), то есть

$$K_2 = A_2 - B_2 \lambda_p - C_2 \lambda_p^2. \quad (23)$$

Для приближённых расчётов, согласно данным работы [7], крутящий момент  $M_{дв}$  с учётом работы регулятора частоты вращения винта может быть представлен следующим образом

$$M_{дв} = M_{c_0} (1,1 - 0,02\bar{n} - 0,08\bar{n}^2), \quad (24)$$

где

$$M_{c_0} = K_{2_0} \rho n_0^2 D_b^5; \bar{n} = n/n_0,$$

а коэффициент момента  $K_{2_0}$  находится в зависимости от значения  $\lambda_{p_0}$ .

Криволинейное движение судна приводит к тому, что поток жидкости подтекает к винту под углом  $\beta_p$  к оси гребного вала, равным местному углу дрейфа в районе движительно-рулевого комплекса (ДРК). При этом режим работы винта и создаваемые гидродинамические усилия (упор  $P$ , полезная тяга  $P_e$  и момент  $M_c$ ) будут определяться продольной составляющей скорости судна  $v_x$  [1, 12, 13]. Следовательно, выражения (18)-(21) при использовании значения продольной составляющей скорости  $v_x$  будут справедливы и для случая циркуляционного движения судна.

Заметим также, что при криволинейном движении на открытом гребном винте возникает стабилизирующая поперечная сила  $Q_y$ , действующая в плоскости его диска по направлению поперечной составляющей скорости потока. Эта сила, линейно зависящая от угла  $\beta_p$ , может быть определена по данным работы [14].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Басин, А.М. Ходкость и управляемость судов / А.М. Басин. -М.: Транспорт, 1977. - 456 с.
- 2 Басин, А.М. Теория и расчёт гребных винтов / А.М. Басин, И.Я. Миниович. -Л.: Судпромгиз, 1963. -760 с.
- 3 Басин, А.М. Руководство по расчёту и проектированию гребных винтов судов внутреннего плавания / А.М. Басин, Е.И. Степанюк. -Л.: Транспорт, 1981. -352 с.
- 4 Русецкий, А.А. Судовые движители / А.А. Русецкий, М.М. Жученко, О.В. Дубровин. -Л.: Судостроение, 1971. -287 с.
- 5 Сандлер, Л.Б. Практические методы расчёта ходкости судов внутреннего плавания / Л.Б. Сандлер. -Новосибирск: Новосибир. ин-т инженеров водн. трансп., 1970. -432 с.
- 6 Анфимов, В.Н. Судовые тяговые расчёты: учеб. для ин-тов водн. трансп. / В.Н. Анфимов, Г.И. Ваганов, В.Г. Павленко; под ред. В.Г. Павленко. -Изд. 2-е, перераб. и доп. -М.: Транспорт, 1978. -216 с.
- 7 Горелкин, В.И. Определение инерционных характеристик судов с дизельными энергетическими установками / В.И. Горелкин. -М.: Транспорт, 1990. -76 с.
- 8 Филатов, С.В. Совершенствование паспортных характеристик судов / С.В. Филатов // Речн. трансп. -1988. -№9. -С. 27-29.
- 9 Филатов, С.В. Методические положения разработки базового справочника маневренных характеристик судов речного флота / С.В. Филатов // Тр. ГИИВТ. -1988. -Вып. 230. -С. 26-57.
- 10 Бажанкин, В.В. Исследование влияния условий эксплуатации на степень загрузки главных двигателей «Нефтерудовоза-8» / В.В. Бажанкин // Тр. ГИИВТ. -1990. -Вып. 253. -С. 91-117.
- 11 Тихонов, В.И. Основы теории динамической системы судно-жидкость / В.И. Тихонов. -Н.Новгород: ФГОУ ВПО ВГАВТ, 2007. -262 с.
- 12 Гофман, А.Д. Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна: справочник / А.Д. Гофман. -Л.: Судостроение, 1988. -360 с.

13 Васильев, А.В. Управляемость судов: учеб. пособие / А.В. Васильев. -Л.: Судостроение, 1989. -328 с.

14 Ходкость и управляемость судов: учеб. для вузов / В.Ф. Бавин, В.И. Зайков, В.Г. Павленко, Л.Б. Сандлер; под ред. В.Г. Павленко. -М.: Транспорт, 1991. -397 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** гребной винт, полезная тяга, судовой руль, составляющие реакции отклоненной струи

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Дмитрий В. Тарасов, аспирант ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

В.И. Тихонов, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

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

## **ГИДРАВЛИКА ДВИЖЕНИЯ СУДНА В СУДОХОДНОМ КАНАЛЕ**

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

**А.С. Торн**

### **HYDRAULICS OF MOVEMENT OF A VESSEL IN A SHIP CANAL**

«Volga state academy of water transport»

A.S. Torn

In article components of the hydrodynamic forces operating on a vessel at its movement in the conditions of the constrained channel of a ship canal, and also influence of streams from ship waves on a bottom and channel coast are considered.

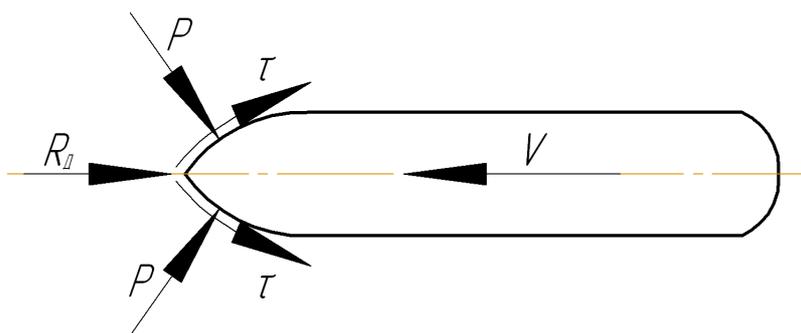
Рассматриваются составляющие гидродинамических сил, действующих на судно при его движении в условиях стесненного русла судоходного канала, а также воздействие струй от судовых движителей на дно и берега канала.

При движении с некоторой скоростью  $V$  судно испытывает силу сопротивления окружающей среды  $R$  (воды и воздуха), направленную в сторону, противоположную его движению.

Гидродинамические силы, приложенные к элементам поверхности корпуса движущегося судна, можно разложить на две составляющие: касательную и нормальную. Касательную составляющую называют силой трения, а нормальную – силой давления.

Гидродинамическая сила сопротивления воды движению судна определяется трением воды в пограничном слое (сопротивление трения) и распределением гидродинамического давления потока воды на судно (сопротивление формы, связанное с образованием вихревых течений – его иногда называют водоворотным сопротивлением) и зависит от скорости движения (скоростного напора  $\rho V^2/2$ ), формы и состояния поверхности судна.

На рисунке 1 показаны сила трения  $\tau$  и сила давления  $P$ , действующие на выделенный элемент смоченной поверхности судна.



*Рисунок 1 – Приложение силы трения и силы давления на выделенный элемент смоченной поверхности судна*

Проецируя все элементарные силы трения на направление скорости движения судна и суммируя их по всей смоченной поверхности, получим результирующую сил трения – сопротивление трения  $R_{тр}$ , обусловленное действием сил вязкости.

Результирующая проекции сил давления на направление скорости движения судна  $V$ , взятая по всей смоченной поверхности, определяет сопротивление давления  $R_d$ , которое обуславливается плотностью и вязкостью воды.

Когда первая критическая скорость в канале  $V_{к1}$  не превосходит значения скорости движения судна, возникает скорость вызванного течения  $\Delta V$ , направленная в сторону, проти-

воположную движению судна, то есть вызывает встречный поток и увеличение средней скорости его обтекания [1]. При высоких скоростях движения, превосходящих значение  $V_{K2}$ , которое называется второй критической скоростью, возникает дополнительное течение со скоростью  $-\Delta V$ , направленное в сторону движения судна, вызывающее попутный поток, несколько уменьшающий скорость его обтекания. При  $V_C > V_{K1}$  может произойти удар судна о дно канала из-за суммарного влияния понижения уровня, при обратном течении, посадке судна и увеличении угла дифферента на корму судна.

Судно, следующее по каналу полного профиля, создает значительный встречный поток и понижение уровня воды в канале, эффект которого намного более сильно проявляется при движении в канале полного профиля, чем если бы судно следовало в узком канале неполного профиля или же на мелководье.

Эффект канала переменной ширины, который заключается в воздействии встречного потока и изменения наклона уровня воды в пределах объема, занимаемого подводной частью корпуса судна вызывает:

- рост скорости встречного потока, генерируемого движущимся судном;
- изменение уровня и угла уклона свободной поверхности воды в пределах длины судна, а тем самым и возникновение дополнительных гидростатических сил, приложенных к корпусу судна.

В основу системы обыкновенных дифференциальных уравнений движения судна положена система  $n$  нелинейных дифференциальных уравнений. В векторной форме эти уравнения можно представить в виде:

$$\begin{aligned} m + m\dot{\omega} \cdot r_G + m\omega \cdot v + m\omega \cdot \omega \cdot r_G &= F; \\ I\dot{\omega} - m\dot{v} \cdot r_G + \omega \cdot I\omega - m(\omega \cdot v) \cdot r_G &= M, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $m$  – масса судна;

$r_G = (x_G, y_G, z_G)$  – вектор положения его центра тяжести;

$\omega = (p, q, r)$  – вектор угловой скорости;

$v = (u, v, w)$  – вектор скорости;

$F = (X, Y, Z)$  – вектор результирующей внешних сил;

$M = (K, M, N)$  – вектор результирующей внешних моментов относительно начала координат;

$I$  – матрица тензора инерции.

При увеличении скорости движения судна по каналам также необходимо учитывать воздействие на дно и берега каналов от работы судовых движителей, которое зависит от продолжительности и силы их воздействия, параметров канала, качества облицовки откосов.

С точки зрения физики задачей судовых движителей является создание импульсов определенной силы и направленности. Благодаря наличию внутренних сил трения между струями и окружающей жидкостью по мере увеличения расстояния по оси  $x$  (рисунок 2) от движителя диаметр струй увеличивается. Появляется ускорение частиц окружающей жидкости, но кинетическая энергия струй теряется, что приводит к уменьшению их скорости. Благодаря этому распространяющиеся струи при определенных обстоятельствах могут достигнуть поверхности воды, а также дна и стен канала, перенося на них кинетическую энергию. Нагрузки от действий струй, следовательно, зависят от действующих осевой и касательной скоростей  $u_{x,y,z}$  и  $v_{x,y,z}$ ; при этом расстояние от любой точки диска движителя до заданной точки пространства можно представить из формулы  $y^2 + z^2 = r^2$ . Определение скорости распространения струи является первым шагом в определении действующих нагрузок от движителей судов.

Из научных работ Краатца и Вигеля [2, 3] известно что, в общем, скорость распространения струй соответствует закону Гаусса с нормальным распределением ошибок наблюдений

$$f(\bar{x}) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\bar{x}}{\sigma}\right)^2\right]. \quad (5)$$

Этот закон может быть преобразован при:

$$f(\bar{x}) = u_{x,r}; \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} = u_{\max}; \bar{x} = r',$$

в выражение

$$u_{x,r} = u_{\max} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{r'}{\sigma}\right)^2\right], \quad (6)$$

которое действительно для всех разновидностей струй и всех видов скоростного напора после определения основных параметров, характеризующих индивидуальные особенности потока жидкости: максимальной скорости –  $u_{\max}$ ; расстояния от гребного винта до границы установившейся зоны –  $x_0$ , векторного радиуса действия струй –  $r'$ , потенциала вызванных скоростей –  $\sigma = f(u_0, u_\infty, \omega)$ .

В ходе изучения и проведения опытов [4] параметры  $u_x$  и  $u_r$  были установлены эмпирическим путем для гребного винта в установившейся зоне потока волн, при  $0 < x < x_0$ ; при расстоянии до установившейся зоны  $x_0 = 2D_0$ , как показано на рисунке 2

$$u_{x,r} = u_0 \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(r - \left[0,3D_0\left(\frac{x}{D_0}\right)^{-0,3}\right] / \frac{D_0}{2} - \left[0,3D_0\left(\frac{x}{D_0}\right)^{-0,3}\right]\right)^2\right\}. \quad (7)$$

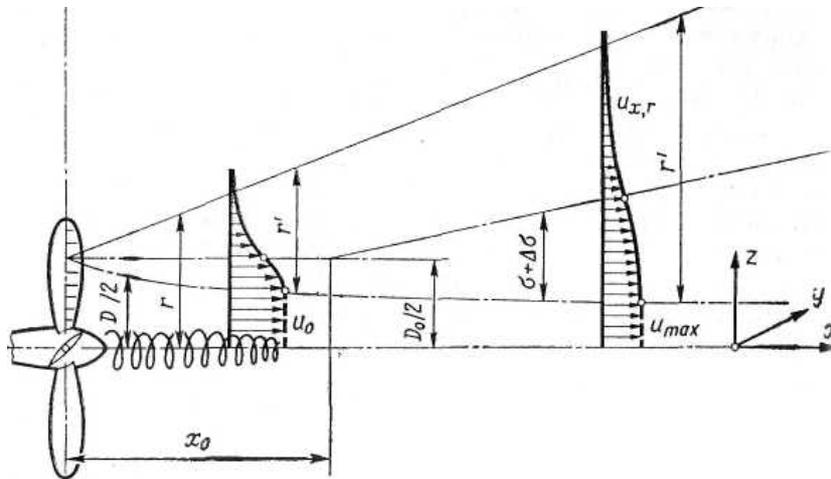


Рисунок 2 – Схема распространения скоростей в потоке струй от воздействия гребного винта

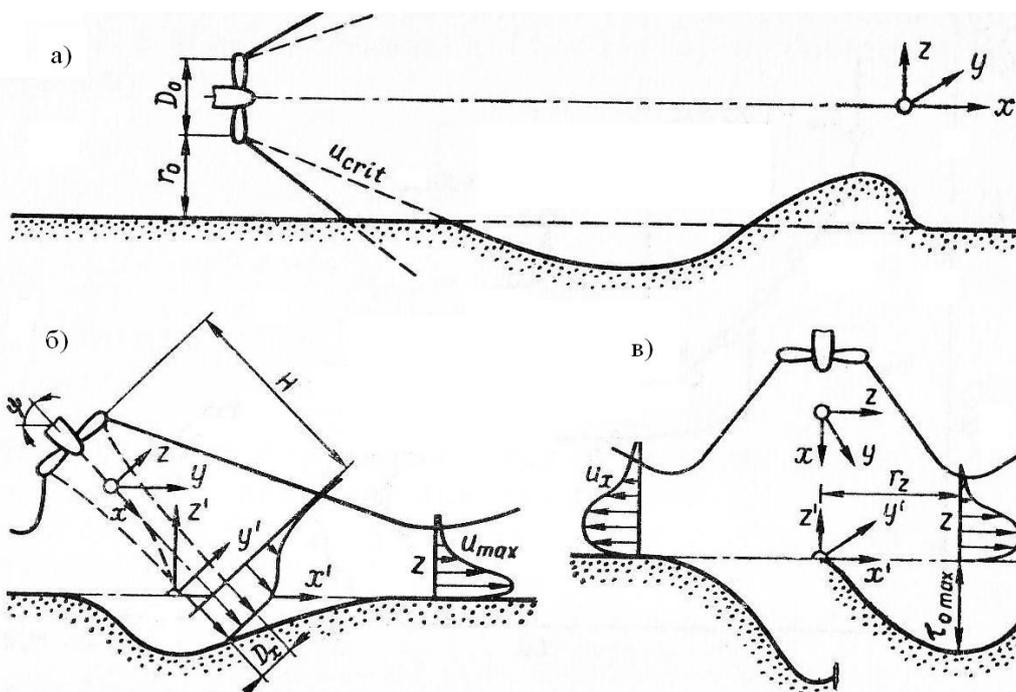


Рисунок 3 – Схемы воздействия струй от работающего гребного винта на ложе канала

Исходя из (7) смоделированы три схемы переноса кинетической энергии на дно и берега судоходного канала:

- касательное усилие сдвига в случае, когда оси струй расположены параллельно плоскости разграничения двух сред - воды и сооружения (рисунок 3а);
- при совместном воздействии касательных усилий и вертикального гидродинамического давления (влияние фильтрационного потока воды в форме гидравлического сопротивления фильтрации и сил трения вязкой жидкости) в случае (рисунок 3б), когда оси струй наклонены к берегам канала (наклон струй по отношению ко дну канала бывает очень редко);
- воздействие только гидродинамического давления (и фильтрационных сил) в случае, когда оси струй действуют перпендикулярно к берегу канала (рисунок 3в).

Приведенные выше формулы могут быть использованы для несвязных грунтов, то есть для каналов без применения берегоукрепительных конструкций и сооружений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гибкие берегоукрепления. / Под ред. Гольдина Э.Р. -М.: Транспорт, 1988.
- 2 Kraatz, W. Stromungsverhalten und Verteilung horizont an der Oberflache eingeleiteter Beckenzuflusse. Wasserwirtschaft Wassertechnik, 1972
- 3 Wiegel, R.L. Discharge of warm water jet over sloping bottom. / R.L. Wiegel, J. Mobarek, Y. Yen // Hydraulic Eng. Lab., University of Calif., Berkeley, 1960.
- 4 Oebius, H.U. Analytische und experimentelle Untersuchungen uber den Einflub von Schraubenpropellern auf bewegliche Gewassersohlen. / H.U. Oebius, S. Schuster // Versuchsanstalt fur Wasserbau und Schiffbau, 1991.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** гидродинамические силы, движение в канале, гребной винт  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Торн Андрей Сергеевич, аспирант ФГОУ ВПО «ВГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

### **ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В БАССЕЙНОВЫХ СИСТЕМАХ ЛРН СУДОВЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТИ**

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

**С.В. Васькин**

**SUBSTANTIATION OF EXPEDIENCY OF APPLICATION IN RIVER BASIN SYSTEMS LRN OF SHIP MEANS FOR LOCALISATION OF OIL SPILLS**  
«Volga state academy of water transport»  
S.V. Vaskin

In article the impossibility of an effective utilization of means available on high-tonnage tankers for localization of oil spills is marked and inclusion of these courts in system under the prevention of extreme situations is offered at emergency of oil spills on internal waterways.

Отмечена невозможность эффективного использования имеющихся на большегрузных танкерах средств для локализации разливов нефти и предлагается включение этих судов в систему по предупреждению чрезвычайных ситуаций при аварийных разливах нефти на внутренних водных путях.

В настоящее время в соответствии с «Правилами экологической безопасности» Российского Речного Регистра на самоходных нефтеналивных судах грузоподъемностью свыше 2000 т должны быть предусмотрены средства для локализации разливов нефти (ЛРН). В состав данных средств входят боновое ограждение с элементами для его постановки, сорбент, а также устройства для подачи сорбента в зону разлива и сбора отработанного сорбента. Таким образом, предполагается, что аварийный разлив нефти, произошедший на танкере, может быть локализован силами экипажа.

В то же время возможность локализации и ликвидации нефтяного пятна судовой командой в условиях внутренних водных путей представляется весьма спорной. Это связано с наличием речных течений, скорость которых в подавляющем большинстве случаев превышает 0,5 м/с. Учитывая, что минимальное время на постановку бона составляет порядка 30-40 мин., локализация теряет смысл, поскольку за это время пятно разлива окажется на расстоянии не менее 2 км от начальной точки.

Еще одной трудностью, связанной с использованием бонов в речных условиях, является проблема удержания нефти боновым ограждением на течении. Многочисленными ис-

следованиями показано, что эффективное задержание нефтепродуктов богами возможно при относительных скоростях течения до 1 узла (то есть порядка 0,5 м/с). При больших скоростях начинается унос нефти под юбкой бонового ограждения, причем интенсивность этого уноса возрастает с увеличением толщины удерживаемого боном на поверхности воды слоя нефти. Предотвратить эффект уноса можно путем удаления нефтяной пленки, накапливающейся перед боном, при помощи специальных сборных устройств. Однако в состав судовых средств ЛРН подобные устройства не включены.

Насколько успешно может быть применено боновое ограждение для локализации разлива, зависит не только от массы разлива и скорости течения, но и от многих других факторов: объемного расхода вытекающей нефти, опытности экипажа и т.д. В общем же случае следует полагать, что эффективность использования судовых средств ЛРН для локализации и ликвидации аварийных разливов, произошедших непосредственно на самих танкерах, окажется низкой.

Таким образом, судовой комплект ЛРН, имеющийся на большегрузных нефтеналивных судах, в значительной степени представляет собой дорогое, но достаточно бесполезное изделие, требующее к тому же надлежащего ухода и периодической замены. Владельцы таких судов обязаны поддерживать соответствующие технические средства в исправном состоянии, проводить своевременное обучение и тренировки экипажа, неся определенные финансовые затраты. Выходом из данной ситуации может стать вовлечение соответствующих судовладельцев в коллективную систему по предупреждению чрезвычайных ситуаций и обеспечению экологической безопасности речных бассейнов при аварийных разливах нефти.

Для этих целей в бассейнах внутренних водных путей России предполагается создание системы опорных пунктов по локализации и ликвидации аварийных разливов нефти, расположенных вблизи от наиболее вероятных точек разлива. Организация и эксплуатация опорных пунктов ЛРН требует значительных материальных затрат, источником финансирования которых должны стать как государственные структуры, так и частные компании, производственная деятельность которых по ряду причин может сопровождаться аварийными разливами нефти. При этом судоходные компании смогут получить соответствующую денежную компенсацию в том случае, если принадлежащие им нефтеналивные суда будут являться составной частью создаваемой системы в качестве подвижных опорных пунктов ЛРН.

Дислокация стационарных опорных пунктов выбирается с таким расчетом, чтобы локализация аварийного разлива в соответствии с правительственными решениями была осуществлена не более чем через четыре часа с момента происшествия. Следовательно, нефтяное пятно должно быть локализовано не позднее, чем оно достигнет некоторого рубежа, который можно считать «рубежом локализации». В этом случае нефтеналивное судно, имеющее на борту комплект ЛРН и подготовленный экипаж, может оказать содействие «береговым» аварийно-спасательным бригадам, если в момент разлива будет находиться не далее, чем в четырех часах пути от рубежа локализации. Вероятность нахождения наливных судов различных судоходных компаний в четырехчасовых интервалах от рубежей локализации в момент аварийных разливов, произошедших на объектах водного транспорта, будет зависеть от количества судов, маршрута их движения и ряда других факторов.

Рассчитанные по результатам навигации вероятности могут служить основой для определения степени участия судоходных компаний в создании и обслуживании пунктов ЛРН и быть использованы для установления взаиморасчетов между судоходными компаниями и организациями, обеспечивающими создание и содержание пунктов ЛРН, путем введения «коэффициента участия».

Пусть сумма платежей за обслуживание стационарных опорных пунктов ЛРН для судоходной компании, занимающейся нефтеперевозками, составляет  $S$  рублей, а вероятность нахождения у рубежей локализации танкеров, принадлежащих этой компании, равна  $p(A)$ . Тогда, с учетом использования судов компании в качестве подвижных пунктов ЛРН, сумма платежей пересчитывается по выражению

$$S' = k \cdot S,$$

где  $k$  – коэффициент участия судоходной компании в комплексной системе опорных пунктов ЛРН,

$$k = (1 - p(A)).$$

Волжской государственной академией водного транспорта совместно с ООО «ЛАРН-проект» была проведена работа по установлению наиболее вероятных точек разлива неф-

ти, мест расположения рубежей локализации и опорных пунктов ЛРН в пределах ФГУ «Волжское ГБУВПиС» (ВГБУ), «Азово-Донское ГБУВПиС» (АДГБУ), «Волго-Балтийское ГБУВПиС» (ВБГБУ) и «Волго-Донское ГБУВПиС» (ВДГБУ). Это позволило определить вероятность нахождения танкеров грузоподъемностью свыше 2000 т, принадлежащих тем или иным судоходным компаниям, вблизи опорных пунктов, расположенных в пределах указанных речных бассейнов.

Для вычисления вероятностей была разработана математическая модель движения судна по различным маршрутам во время круговых рейсов, совершаемых им во время навигации. При этом определялось время нахождения судов в границах того или иного ГБУ с учетом их путевой скорости, продолжительности бункеровок, шлюзования и т.д. Исходными данными для проведения расчетов являлась дислокация всех крупных нефтеналивных судов в границах ГБУ, а также расположение рубежей локализации в границах бассейна.

*Таблица – Результаты расчета*

Бассейновое управление	Количество судоходных компаний, эксплуатирующих танкеры грузоподъемностью более 2000 т в пределах бассейна	Интервал варьирования коэффициента участия $k$ для различных судовладельцев	Вероятность нахождения у рубежа для всех судов всех судовладельцев
ВГБУ	6	0,022-0,461	0,782
ВБГБУ	10	0,013-0,945	0,999
АДГБУ	22	0,013-0,669	0,998
ВДГБУ	21	0,010-0,796	0,995

В результате расчетов для каждого из участвовавших в перевозках судов была получена оценка вероятности нахождения в четырехчасовых интервалах от рубежей локализации. Эти оценки, в свою очередь, позволили определить вероятности нахождения у рубежей хотя бы одного из судов той или иной судоходной компании, а также для всех судов всех судовладельцев. Величины этих вероятностей представлены ниже (таблица).

Таким образом, расчеты показали возможность активного использования наряду со стационарными и передвижными опорными пунктами для ликвидации аварийных разливов нефти, созданных на базе самоходных нефтеналивных судов грузоподъемностью свыше 2000 т.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* аварийные разливы нефти, большегрузные танкеры, судовые средства для локализации разливов нефти

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* Васькин Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:* 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## **ПОСТРОЕНИЕ АППРОКСИМАЦИОННЫХ ВЫРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ РАЗДЕЛА «ОСТОЙЧИВОСТЬ» РОССИЙСКОГО РЕЧНОГО РЕГИСТРА**

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

**П.А. Бимберек**

**CONSTRUCTION OF APPROXIMATION OF EXPRESSIONS FOR DEPENDENCES WAS UNDRESSED BY «STABILITY» OF THE RUSSIAN RIVER REGISTER**

«Novosibirsk state academy of water transport»

P.A. Bimberekov

Reception of approximation of expressions of tabular dependences is considered has undressed "Stability" of the Russian River Register, intended for realization of the complete analytical device.

Рассматривается получение аппроксимационных выражений табличных зависимостей раздела «Остойчивость» Российского Речного Регистра (РРР), предназначенное для реализации целостного аналитического аппарата.

Несомненно, что наличие аналитического аппарата для определения параметров, характеризующих навигационное качество остойчивость, удобного для составления программы для ЭВМ, является существенным упрощением процедуры практической оценки этого важного критерия соответствия судна условиям плавания. В настоящее время расчет параметров остойчивости согласно требованиям РРР [1] ведется с использованием ряда табличных зависимостей, требующих применения процедуры линейной интерполяции табличных данных затрудняющих процесс расчета. Для получения аналитического алгоритма для

расчета остойчивости на базе методики изложенной в [1], необходимо получить аппроксимационные выражения, описывающие табличные данные. Ниже приведены варианты таких аппроксимационных выражений (точки – табличные значения РРР, линия – аппроксимационная зависимость).

Для оценки приведенного плеча кренящей пары при динамических воздействиях используются поправочные коэффициенты  $a_1$  и  $a_2$ , имеющие зависимость от отношения ширины судна к его средней осадке  $B/T$ . Аппроксимационные зависимости для коэффициентов  $a_1$  и  $a_2$  представлены графически на рисунке 1 и 2, а аналитическими выражениями – формулами:

$$a_1 = 1,31 - 0,925 \exp[-0,00025(B/T)^{4,33}]; \quad (1)$$

$$a_2 = \frac{-6,2 + 0,75^{-2,64}}{10,7 + (z_g/B)^{-2,64}}. \quad (2)$$

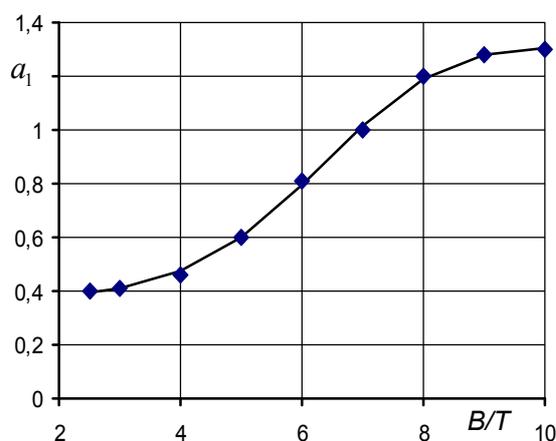


Рисунок 1 – Аппроксимация табличных значений коэффициента  $a_1$  аналитическим выражением (1)

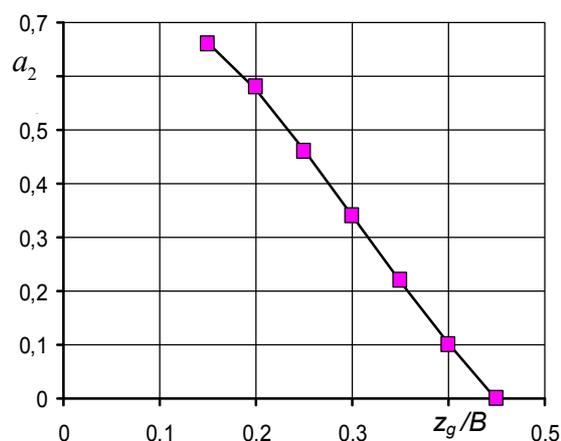


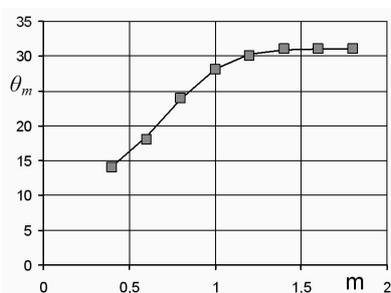
Рисунок 2 – Аппроксимация табличных значений коэффициента  $a_2$  аналитическим выражением (2)

Расчетные условные амплитуды бортовой качки  $\theta_m$ , град, определяются в зависимости от частоты  $m$ , графические зависимости для которой для классов судна «М», «О», «Р» приведены на рисунке 3 и аналитические выражения соответственно для классов судна «М», «О», «Р» в формулах:

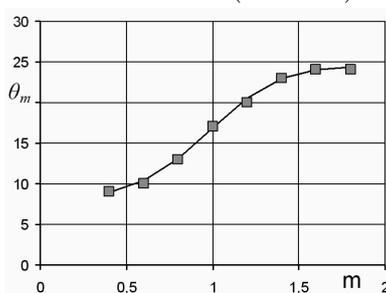
$$\theta_m = 31 - 19,3 \exp(-1,9m^{2,9}); \quad (3)$$

$$\theta_m = 24,4 - 15,9 \exp(-0,75m^{3,5}); \quad (4)$$

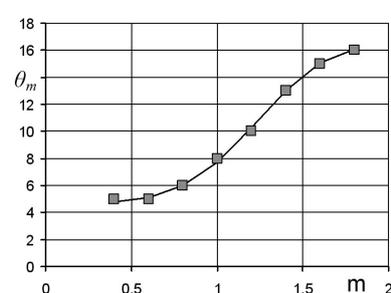
$$\theta_m = 16,4 - 11,7 \exp(-0,3m^{4,2}). \quad (5)$$



а) для класса «М»



б) для класса «О»



в) для класса «Р»

Рисунок 3 – Аппроксимация табличных значений коэффициента  $\theta_m$  аналитическими выражениями (3)-(5)

Значение частоты  $m$  зависит от множителей  $m_1, m_2, m_3$ . Множитель  $m_1$  зависит последовательно от коэффициента  $m_0$ , являющегося функцией параметра  $n_1$ . Графическая зависимость для коэффициента  $m_0$  приведена на рисунке 4а и аналитическое выражение в фор-

муле

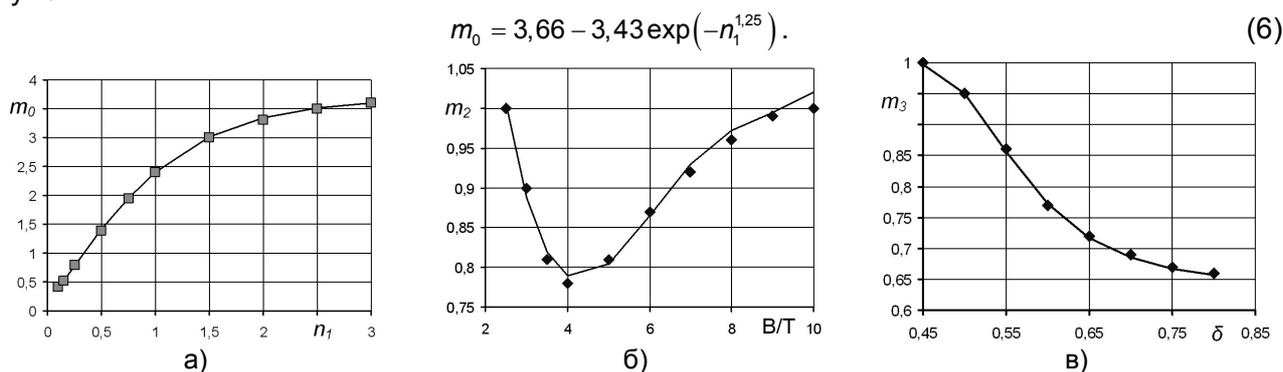


Рисунок 4 – Аппроксимация табличных значений коэффициентов  $m_0; m_2; m_3$  аналитическими выражениями (6)-(8)

Множитель  $m_2$  зависит от отношения ширины судна к его средней осадке  $B/T$ . Графическая зависимость для коэффициента  $m_2$  приведена на рисунке 4б и аналитическое выражение в формуле (7)

$$m_2 = 2,87 - 1,34\delta + 0,302\delta^2 - 0,028\delta^3 + 0,000935\delta^4. \quad (7)$$

Множитель  $m_3$  зависит от коэффициента полноты водоизмещения  $\delta$ . Графическая зависимость для коэффициента  $m_2$  приведена на рисунке 4в и аналитическое выражение в формуле (8)

$$m_3 = 1 - 0,358 \exp(-0,0075\delta^{-8,1}). \quad (8)$$

Значение расчетных условных давлений ветра  $\rho$  в зависимости от возвышения центра парусности над плоскостью действующей ватерлинии  $z_T$ , могут быть аппроксимированы точно полиномом, однако возможно и точности нижеследующих аппроксимаций будет достаточно. Область определения выражений ограничена значениями  $0,5 \leq z_T \leq 6$ . Графические зависимости  $\rho$  для классов судна «М», «О», «Р» приведены на рисунке 5 и аналитические выражения соответственно для классов судна «М», «О», «Р» и «Л» в формулах (9)-(11)

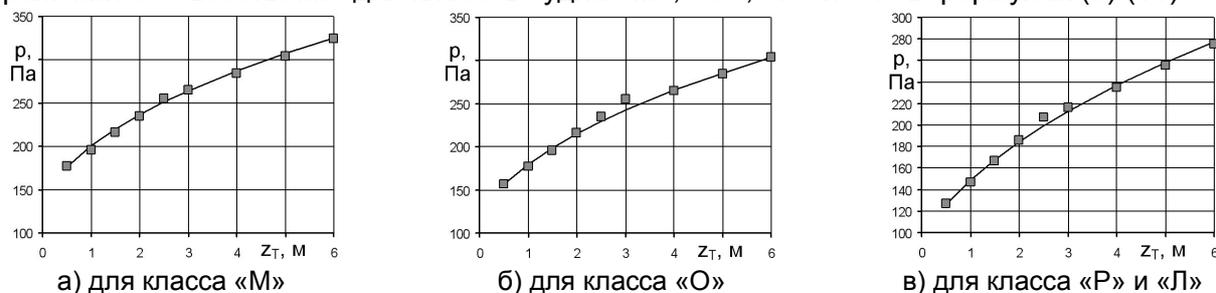


Рисунок 5 – Аппроксимация табличных значений коэффициента  $\rho$  аналитическими выражениями (9)-(11)

$$\rho = 171(z_T + 0,6)^{0,34}, \quad (9)$$

$$\rho = 151(z_T + 0,6)^{0,37}, \quad (10)$$

$$\rho = 121(z_T + 0,6)^{0,44}. \quad (11)$$

Для оценки возрастания сопротивления воды бортовой качке вследствие наличия скуловых или брусковых килей используются коэффициенты  $r_1, r_2, r_3$ . Графические зависимости для них даны соответственно на рисунке 6 и аналитические выражения в формулах (12)-(14).

Для коэффициента  $r_1$ , характеризующего эффективность действия скуловых килей, имеющих суммарную площадь имеем

– при  $4,0 \geq 100S_K/(LB); r_1 = 47,8 S_K/(LB) - 0,241,$  (12)

– при  $4,0 < 100S_K/(LB); r_1 = 1,66.$

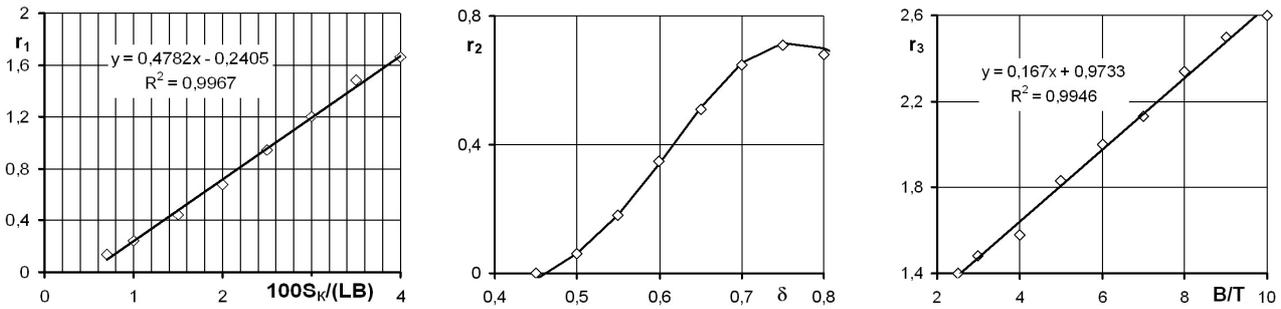


Рисунок 6 – Аппроксимация табличных значений коэффициентов  $r_1; r_2; r_3$  аналитическими выражениями (12)-(14)

Коэффициент  $r_2$ , учитывающий влияние коэффициента общей полноты корпуса судна  $\delta$  на эффективность скуловых килей

$$r_2 = \frac{-0,116 + 0,25\delta}{1 - 2,7\delta + 2\delta^2} \quad (13)$$

Коэффициент  $r_3$ , учитывающий влияние отношения  $B/T$  на эффективность скуловых килей

$$r_3 = 1 + 0,166B/T \quad (14)$$

Для поправочного коэффициента к амплитуде бортовой качки,  $k$ , обусловленного наличием скуловых килей, в зависимости от параметра  $q$  [1] получено аппроксимационное выражение (рисунок 7)

$$k = 1 - \frac{0,438q^{1,85}}{7 + q^{1,85}} \quad (15)$$

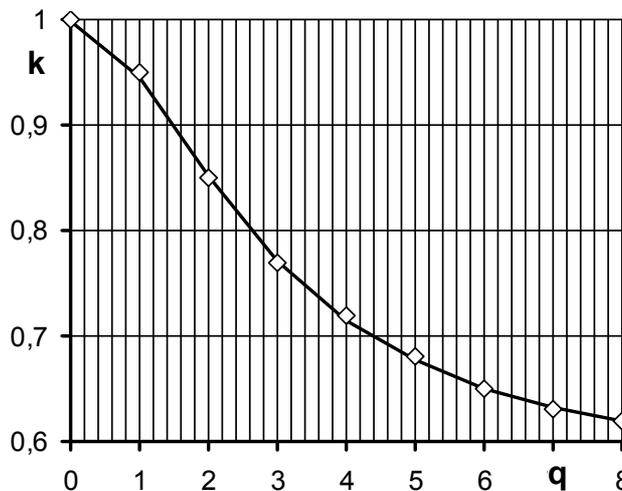


Рисунок 7 – Зависимость коэффициента  $k$  от параметра  $q$

В частности, 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

$$S_k = LB \left\{ 0,0209 \frac{[7(1-k)/(k-0,562)]^{0,54}}{(1+0,166B/T)\alpha\sqrt{B}} - 0,0209 \frac{-0,116 + 0,25\delta}{1 - 2,7\delta + 2\delta^2} + 0,005 \right\} \quad (16)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Российский Речной Регистр. Правила. В 4 т. Т.2. -М.: По Волге, 2002. -394 с.  
 КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: остойчивость, амплитуда бортовой качки, скуловые кили  
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Бимбереков Павел Александрович, старший преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРТОГОНАЛЬНО-ЛИНЕЕЧНОГО ДЛИНО-ВЫСОТО-ВОЛНОМЕРА СИЧКАРЕВА В.И. ДЛЯ ЗАДАЧ ПЛАВАНИЯ СУДОВ НА ВОЛНЕНИИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.К. Лубковский

USING OF ORTHOGONAL – LINEAR WAVEMETER OF SICHKAREV V.I. FOR PURPOSES OF THE DECISION OF THE PROBLEMS DURING THE SAILING OF SEA AND SEA-REVER VESSEL'S IN STORMY WEATHER.

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.K. Lubkovsky

In article is marked application of orthogonal – linear wavemeter of Sichkarev V.I. for sea and sea-river vessels, is shown its demonstrative using and is presented monogram of determinations of the lengths of the waves on the known mathematical dependency.

Обозначена область применения ортогонально-линеечного длино-высото-волномера Сичкарева В.И. для морских и судов смешанного плавания, показано наглядное его применение и представлена номограмма определения длин волн по известным математическим зависимостям.

Значительная часть работ, связанных с подготовкой судна к переходу, а также во время рейса посвящена гидрометеорологическому обеспечению плавания.

Все случаи утери груза во время штормования, появление предельных нагрузок на корпус, деформации, уменьшение или потеря поперечной остойчивости, появление резонансной качки, захват волной и потеря управляемости связаны с невозможностью судоводителя наиболее точно определить основные параметры волнения (высота, длина, период), так необходимые в прогностических и в текущих во время штормовой погоды условиях. Эта невозможность и смежное с ним заблуждение об истинных величинах параметров волнового поля и заставляет порой капитанов «экспериментировать» в сложных гидрометеоусловиях, выбирая оптимальный курс и скорость.

Во многих задачах управления судном на волнении необходимо знание длины волны, а при решении задач плавания судна во время штормовой погоды – это первая необходимость, которая, в свою очередь, должна отвечать требованиям точности, быстроты расчета и безопасности. В настоящее время судоводители не имеют возможности ее непосредственного измерения и вынуждены переходить к косвенному ее определению, например через кажущийся период волны, либо к глазомерной оценке.

Существующие методы не позволяют точно определить высоту и длину волны по причинам рыскливости, влияния крутизны на скорость распространения, влияния групповой структуры волнения. Разность определения длины волны при различных методах с истинной может достигать 40 м [1]. При этом не следует забывать, что одной волны недостаточно для объективной оценки волнового поля, а значит штурману необходим многократный выход на открытую палубу, что в условиях штормования (наличие бортовой качки, слеминга, скользкой палубы) – неоправданный риск.



Рисунок 1 – Фотоснимок снятия отсчетов ДВВМ

Кроме того, на диаграммах при поиске зон достаточной остойчивости, свободных от резонансной качки, вообще не допускается примерного определения параметров волнения.

Основными руководящими документами для расчета безопасных скоростей и курсов во время штормового плавания служат таблицы МТ-2000 и РД 31.00.57.2-91 (Выбор безопасных скоростей и курсов при плавании судна в штормовых условиях и на попутном волнении) – которые входят в состав обязательной документации, находящейся на судне. Кроме этого, рекомендации и диаграммы можно найти в учебниках и справочниках.

Решение задач, связанных со штормованием, предлагается производить по диаграммам, входными параметрами для которой служат скорость судна, курс волны, период волны,

либо нахождение длины волны по измеренному периоду. РД-31.00.57.2-91 рекомендует судоводителю найти длину волны, прибегнув к визуальной оценке, или по картам гидрометео анализа, или по тому же периоду, воспользовавшись таблицей [2].

По вопросу определения параметров волнения в НГАВТ с 1993 по 2009 гг. была проведена обширная работа по изысканиям в этой области. За базовый инструмент был принят ортогонально-линейчатый длино-высото-волномер (ДВВМ) Сичкарева В.И., описанный ранее в [3-6]. Наглядное использование прибора показано на фотоснимке (рисунок 1).

На основании формулы

$$\lambda = \frac{\ell_a}{\ell_s} e, \quad (1)$$

где  $\ell_s$  – отсчет вертикальной линейки;

$\ell_a$  – отсчет большой горизонтальной линейки;

$e$  – высота глаза над уровнем моря,

составлена номограмма определения длины волны по отсчетам вертикальной и большой горизонтальной линеек при известной высоте глаза наблюдателя, позволяющая сократить время на определение длины волны, исключив математический расчет (рисунок 2).

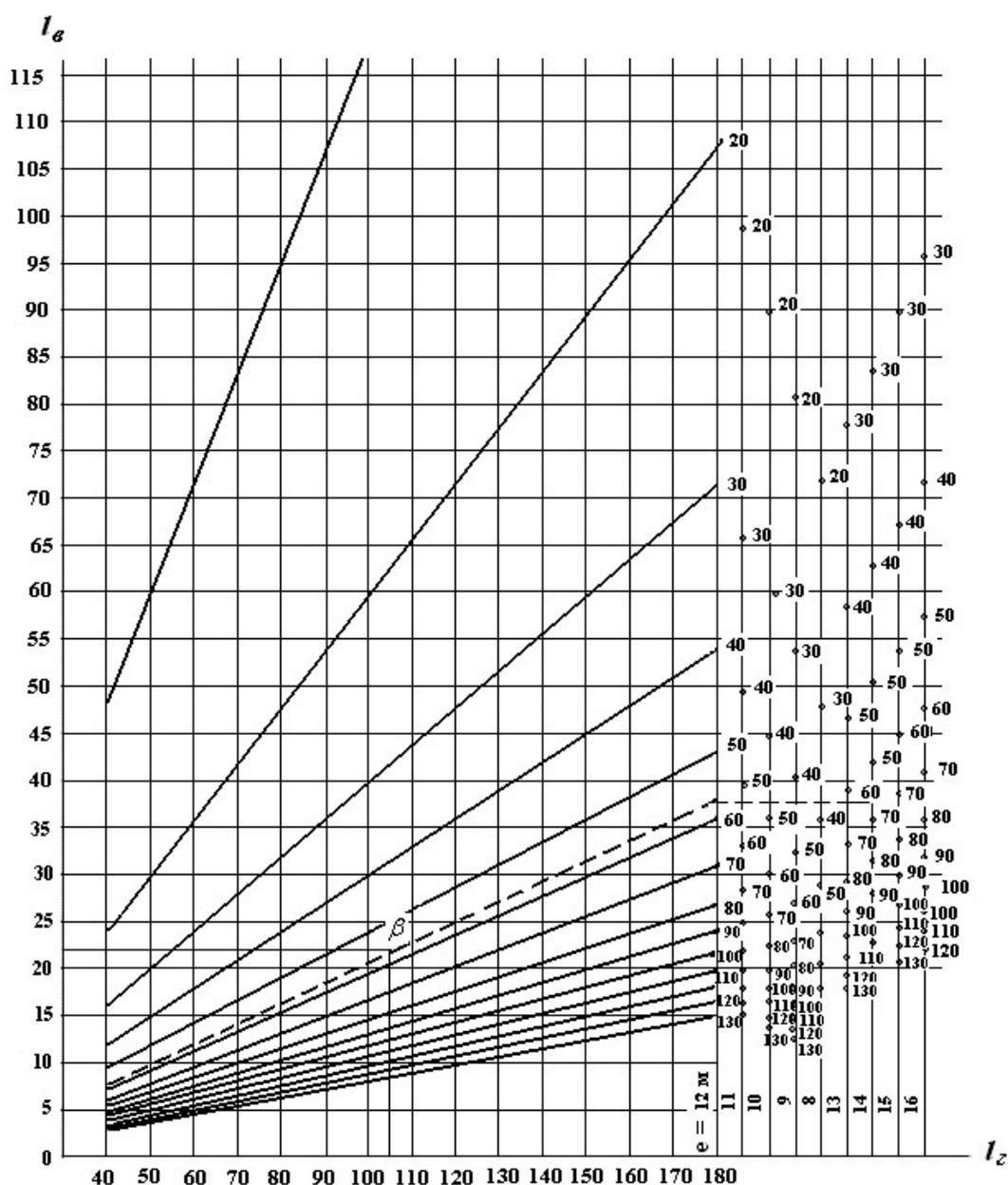


Рисунок 2 – Номограмма определения длины волны по отсчетам большой горизонтальной и вертикальной линеек

Например, получены следующие отсчеты  $\ell_g = 22$  мм и  $\ell_s = 105$  мм. Проводим линии от данных отсчетов перпендикулярно осям, на пересечении которых получим точку  $\beta$ . Проводим параллельную с двумя соседними прямыми (на номограмме  $\lambda = 50$  и  $\lambda = 60$ ) до вертикальной прямой максимального отсчета горизонтальной линейки равной 180 мм. От полученной точки ведем вправо горизонтальную прямую до пересечения с вертикальной прямой отсчета высоты глаза наблюдателя ( $e = 15$  м). Пересечение даст длину волны  $\lambda = 71$  м.

Результаты многочисленных экспериментов в реальных условиях штормового плавания на морских судах и смешанного плавания, обработки статистических данных, а также отзывов со стороны штурманского состава судов дают основание с полной уверенностью рекомендовать прибор для широкого применения на море, а также включения в справочники и судовую руководящую документацию.

Внедрение длино-высото-волномера Сичкарева В.И. однозначно решит проблему точности и безопасности при определении параметров волнения. Однако решение этой проблемы, хоть и сокращает время при решении задач по выбору безопасных скоростей и курсов по алгоритму «волна-судно-диаграмма-курс, скорость», но не решает ее. По видимому, представляется необходимым разработка программного обеспечения по известным математическим зависимостям диаграмм штормования. Внедрение такой программы вкупе с ДВВМ решит проблему времени, точности, а значит и безопасности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Сичкарев, В.И. Точность измерения длин волн волномером Сичкарева / В.И. Сичкарев // Судовождение-2000: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2000. - С. 19-21.

2 Выбор безопасных скоростей и курсовых углов при штормовом плавании судна на попутном волнении: РД 31.00.57.2-91. -СПб.: ЦНИИМФ, 2002. -16 с.

3 Сичкарев, В.И. Длинно-высото-волномер из трех ортогонально расположенных линеек / В.И. Сичкарев // Судовождение-2004: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. - Новосибирск, 2004. -С. 3-10.

4 Сичкарев, В.И. Способ и прибор для дистанционного определения длины волны на ходу судна / В.И. Сичкарев // Судовождение: управляемость, управление, навигация, обучение / Новосиб. гос. акад. водн. трансп. -Новосибирск, 1999. -С. 3-9.

5 Сичкарев, В.И. Совершенствование методов решения задач безопасности плавания на волнении в связи с возможностью непосредственного измерения длин волн с мостика судна ортогонально-линеечным волномером / В.И. Сичкарев, И.Е. Копьев // Судовождение-2002: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2002. -С. 42-49.

6 Сичкарев, В.И. Измерение высот и длин волн ортогонально-линеечным длино-высото-волномером / В.И. Сичкарев, В.И. Лубковский // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2007. -№1. -С. 48-54.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** длина волны, расчет, номограмма, эксперимент, внедрение, преимущества

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Лубковский Владислав Константинович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

### **СОПОСТАВЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНОВОГО ПОЛЯ ПО ЗАМЕРАМ ОРТОГОНАЛЬНО-ЛИНЕЕЧНЫМ ВОЛНОМЕРОМ И ПО ФОТОСНИМКАМ ЭКРАНА РЛС**

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**В.К. Лубковский**

THE STATISTICAL FEATURES OF THE WAVE FIELD GOT ON RESULT OF THE MEASUREMENT BY MEANS OF ORTHOGONAL – LINEAR WAVEMETER OF SICHKAREV V.I. AND COMPARATIVE ANALYSIS WITH SIMULTANEOUS SET OF THE STATISTICS ON PHOTOGAPH OF THE RADAR STATION'S SCREEN  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
V.K. Lubkovsky

In article is organized statistical analysis by wave field got by means of orthogonal – linear wavemeter and photographs of the radar station's screen, as well as estimation of the using orthogonal – linear wavemeter by collation parameters other way are received.

Проведен статистический анализ волновых полей, полученных с помощью длино-высото-волномера, и фотосъемкой экрана РЛС. Построенные гистограммы показывают хорошее совпадение распределений двух способов оценок волновых полей.

Описанный ранее, [1, 4], метод оценки волнового поля путем получения снимков изображения экрана РЛС успешно мог бы применяться для решения задач при плавании судна в штормовых условиях. Уже присущие ему два главных достоинства располагают к этому. Во-первых – это правдоподобие, а значит и индикация максимально реального отображения картины волнового поля достигающееся регулировкой чувствительности РЛС. Во-вторых, длины между гребнями на фотоснимке экрана РЛС, снятые линейкой в масштабе, могут быть переведены в метры. На точность отображения волнового поля влияет и возможность получить достаточно широкий ряд статистических данных. И действительно, судоводитель имеет возможность сделать сколько угодно снимков через каждые 5 минут; за это время волновая картинка на шкале 0,25-1М успеет обновиться и на экране индицируется уже район плавания с обновленной картинкой РЛС. В общей совокупности наблюдатель может получить до  $n = 100$  длин волн на шкале 0,25М и до  $n = 300$  на шкале 1М. Однако в реальной эксплуатации судна при штормовых условиях судоводитель не решится усиливать чувствительность приемника РЛС, так как это приведет к слиянию мелких целей (яхт, рыбацких лодок, буксиров) с засветкой от волн, а также уменьшать (до 0,25-0,5М) шкалу дальности (а значит, и дальность обнаружения целей), и сокращать этим время на принятие решения по расхождению, учитывая, что маневр судна по курсу и скорости в таких условиях сопровождается усилением качки, брочингом. Кроме того, значительное время займет обработка снимка: измерение длин между гребнями, перемасштабирование, сведение в общую таблицу, построение гистограмм, усреднение результатов. Поэтому анализ волновой картины по экрану РЛС может стать востребованным после полной автоматизации процесса обработки радиолокационного изображения.

Приведенные выше доводы могут с достаточной долей уверенности служить предпосылками к отнесению данного метода к эталонному и лучшему для проведения сравнительного анализа волнового поля, полученного по измерениям длин волн другими способами, в частности, длино-высото-волномером (ДВВМ) Сичкарева В.И. Подобные сопоставления проводились ранее. С групповыми визуальными наблюдениями – группой студентов 4 курса ФГОУ ВПО «НГАВТ» на борту т/х «Иван Ползунов» в 2000 году, [1], и автором в 2006-2007 гг. на борту т/х «ST STAR» при наборе визуальных оценок длин волн штурманским составом и по периодам волн [2]. Проведенные позже сопоставительные анализы позволили сделать первоначальные заключения о возможности применения ДВВМ на море, особенностях использования, достоинствах и недостатках.

Однако точность оценки отображения картинки волнового поля была ограничена известными недостатками визуальной оценки [1].

Эти недостатки могут быть устранены применением описанного в статье метода. С этой целью в 2008-2009 гг. в морях Азиатско-Тихоокеанского региона на судах «ST BRILLIANCE» и «STEPAN GEYTS» была получена довольно обширная статистика как волномерных наблюдений, так и съёмок экрана РЛС с получением статистик длин волн. Обработка статистических данных и сопоставление дало следующие результаты. Статистические данные съемки экрана РЛС и одновременное снятие отсчетов большой горизонтальной и вертикальной линеек проведено: 01.04.08 г., 08.04.08 г., 09.04.08 г., 10.04.08 г. и 14.04.09 г. В первые четыре даты судно осуществляло штормовое плавание, а 14.04.09 г. – во время стоянки на внешнем рейде (район якорной стоянки Чанцзянкоу №2) п. Шанхай.

Таблица 1 – Замеры линеек длино-высото-волномера и рассчитанные значения длины волны 01.04.2008 г.

$l_e$	$l_s$	$\lambda$																		
25	162	74,5	25	165	75,9	25	158	72,7	21	165	90,4	23	158	79,0	27	135	57,5	24	160	76,7
30	150	57,5	23	174	87,0	30	180	69,0	30	148	56,7	20	164	94,3	25	178	81,9	21	135	73,9
23	176	88,0	28	154	63,3	24	160	76,7	15	112	85,9	21	115	63,0	18	173	13,0	19	152	92,0
23	136	68,0	25	138	63,5	20	125	71,9	7	115	77,8	16	109	78,3	22	145	75,8	20	148	79,4
18	89	56,9	18	116	74,1	19	129	78,1	21	129	70,6	23	161	80,5	24	135	64,7	18	111	70,9
19	126	76,3	22	129	67,4	24	128	61,3	20	177	101,8	23	148	74	15	98	75,1	28	154	63,3
23	169	84,5	18	128	81,8	26	145	64,1	15	116	88,9	16	118	84,8	19	168	101,7	20	148	85,1

После набора данных, аналогичных таблице 1, их обработка и статистический анализ распределения величин  $\lambda$  в волновом поле выполнялись по ниже приведенному алгоритму (на примере ряда, полученного с помощью ДВВМ на 01.04.08 г).

Для выявления эмпирического закона распределения случайной величины  $\lambda$  разобьем область изменения  $\lambda$  на интервалы длиной  $h$  и приведем к ним исходные данные из таблицы 1.

Для построения интервального вариационного ряда определяем оптимальную величину интервала по формуле Стэрджеса [5]

$$h = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{1 + 3,322 \lg n}, \quad (1)$$

где  $x_{\max}$  – максимальное значение величины  $X$  в выборке;

$x_{\min}$  – минимальное значение величины  $X$  в выборке.

Подставим в (1) выбранные из таблицы 1  $\lambda_{\max}$  и  $\lambda_{\min}$  и получим  $h = 8,5$ .

Тогда за начало первого интервала примем

$$x_{\min} - \frac{h}{2} = 56,7 - \frac{8,5}{2} = 52,4. \quad (2)$$

Удобно округлить границы интервалов до десятков и распределить массив  $\lambda$  в вариационный ряд  $[\lambda_i; \lambda_{i+1})$ , таблица 2.

*Таблица 2 – Вариационный ряд длин волн*

Название	$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=4$	$i=5$	$i=6$	$i=7$
Границы интервалов $\lambda$ , м	50-60	70-80	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120
Число наблюдений в интервале $m_i$	4	10	19	10	3	2	1

Статистическая обработка вариационного ряда дает нам величины:

$$n = 49; \bar{\lambda} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i = 76,4; \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n-1}} = 12,2; \sigma_{np} = 3\sigma = 3\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n-1}} = 36,3.$$

Определим предельные значения  $\lambda$ , соответствующие случайным отклонениям (правило  $3\sigma$ )

$$\bar{\lambda} - \sigma_{np} < \lambda < \bar{\lambda} + \sigma_{np}; 40,1 < \lambda < 112,7. \quad (3)$$

Значение  $\lambda$ , не попадающее в интервал до  $\lambda = 113$ , исключим из вариационного ряда.

Тогда получим для нового ряда:  $n = 48$ ;  $\lambda = 74$ ;  $\sigma = 11,17$ ;  $\sigma_{np} = 33,52$ . Хотя параметры волнения далеко не всегда бывают распределены по нормальному закону, выполним проверку соответствия полученного распределения нормальному закону.

Вычислим теоретическую вероятность нормального распределения величины для интервалов из таблицы 2 по формуле

$$P(a < X < b) = \frac{1}{2} \Phi(t_2) - \frac{1}{2} \Phi(t_1), \quad (4)$$

где  $\Phi(t)$  – вероятность того, что нормально распределенная случайная величина находится в некоторых заданных пределах.

Находим его с помощью функции Лапласа по формуле

$$\Phi(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt, \quad (5)$$

или [6].

Значит, по формуле (4) для интервала  $i = 1$  интервальная вероятность  $P_1$  вариационного ряда равна

$$P_1 = P(50 < \lambda < 60) = P\left[\frac{50 - 74}{11,17} < \frac{[\lambda - \bar{\lambda}]}{\sigma} < \frac{60 - 74}{11,17}\right].$$

Рассчитывая аналогичным способом теоретические вероятности нормально распределенной величины  $P_i$  для остальных интервалов  $\lambda$ , получим:

$$P_1 = 0,089; P_2 = 0,255; P_3 = 0,340; P_4 = 0,224; P_5 = 0,066; P_6 = 0,009.$$

Для сопоставления теоретических вероятностей  $P_i$  с  $m_i$  результаты  $P_i$  умножим на число наблюдений  $n = 48$  и представим в таблице 3.

*Таблица 3 – Сопоставление эмпирических и теоретических частот*

Обозначение	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$	$i = 4$	$i = 5$	$i = 6$	$i = 7$
$[\lambda_i; \lambda_{i+1})$	50-60	70-80	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120
Эмпирические частоты, $m_i$	4	10	19	10	3	2	1
Теоретические частоты, $np_i$	4,3	12,2	16,3	10,7	3,2	0,43	0,5
Накопленная частота, $w_x$	0,08	0,2	0,39	0,2	0,06	0,04	0,02

Для проверки соответствия распределения  $\lambda$  нормальному закону, вычислим оценку  $\chi^2$  критерия Пирсона по формуле

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{i=7} \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i} = 6,63, \quad (6)$$

а число степеней свободы

$$k = l - r - 1 = 6 - 2 - 1 = 3,$$

где  $l$  – количество интервалов вариационного ряда;

$r$  – количество параметров вариационного ряда, использованных для описания теоретического распределения ( $\bar{\lambda}, \sigma$ ).

Критическое значение  $\chi^2$  при  $k = 3$  равно 6,63 при  $P = 0,08$ . Это значит, что только лишь с вероятностью  $P = 8\%$  распределение  $\lambda$  соответствует нормальному распределению при общепринятой гипотетической нормальности, равной  $P \Rightarrow 75\%$ .

Это объясняется тем что статистика  $\chi^2$  имеет  $\chi^2$ -распределение лишь при  $n \rightarrow \infty$ , поэтому необходимым условием применения критерия Пирсона является наличие в интервале от 5 до 10 наблюдений, что согласно таблице 2 не выполняется даже на половине интервалов. Поэтому необходимо применение критерия, который не связан с критическими значениями  $\chi^2$ . Целесообразно использовать критерий Романовского

$$R = \frac{|X^2 - k|}{\sqrt{2k}} = 1,06 < 3. \quad (7)$$

Если  $R < 3$ , то гипотеза о принадлежности испытуемой выборки проверяемому нормальному теоретическому распределению верна.

Для наглядного представления закономерностей варьирования значения признака построена гистограмма (см. таблица 3)

Аналогичным способом производим проверку гипотезы о нормальном распределении длин волн  $\lambda$  в волновом поле, полученном с помощью снимка экрана РЛС и на последующие даты (таблица 4). На рисунке построены сводные гистограммы распределения длин волн, полученных двумя способами (ДВВМ и РЛС).

*Таблица 4 – Сводка статических параметров выборок, полученных в разные даты наблюдений*

Дата	Метод	$n$	$\Sigma_x$	$\bar{x}$	$\lambda_{cp}$	$\sigma_{n-1}$	$\sigma_{np}$	$\chi^2$	$k$	$R$	$P$
01.04.08	ДВВМ	49	3746,8	74,0	74,0	12,10	36,30	6,630	3	1,060	0,080
	ДВВМ	48	3551,2			11,17	33,52				
	РЛС	836	63539,8	75,6	75,6	13,59	40,77	51,670	5	14,700	–
	РЛС	829	62685,6			12,90	38,70				
08.04.08	ДВВМ	49	3227,9	65,9	65,9	16,94	50,80	10,800	6	1,370	0,100
	РЛС	330	25489,6	77,2	77,2	24,70	74,30	183,680	9	41,400	–
09.04.08	ДВВМ	56	5951,7	106,3	106,3	20,52	61,57	13,900	8	1,475	0,075
	РЛС	946	105359,2	111,4	111,4	19,85	59,50	230,660	8	55,700	–
10.04.08	ДВВМ	56	5940,0	106,1	106,1	27,20	81,60	25,080	8	4,250	–
	РЛС	968	100261,2	103,6	103,6	32,80	98,46	303,077	14	54,600	–
14.04.09	ДВВМ	56	3119,4	55,7	55,7	10,90	32,60	11,250	3	3,370	0,010
	РЛС	1056	59890,5	56,2	56,2	9,80	29,50	131,600	3	52,400	–
	РЛС	1039	58321,3			8,76	26,30				

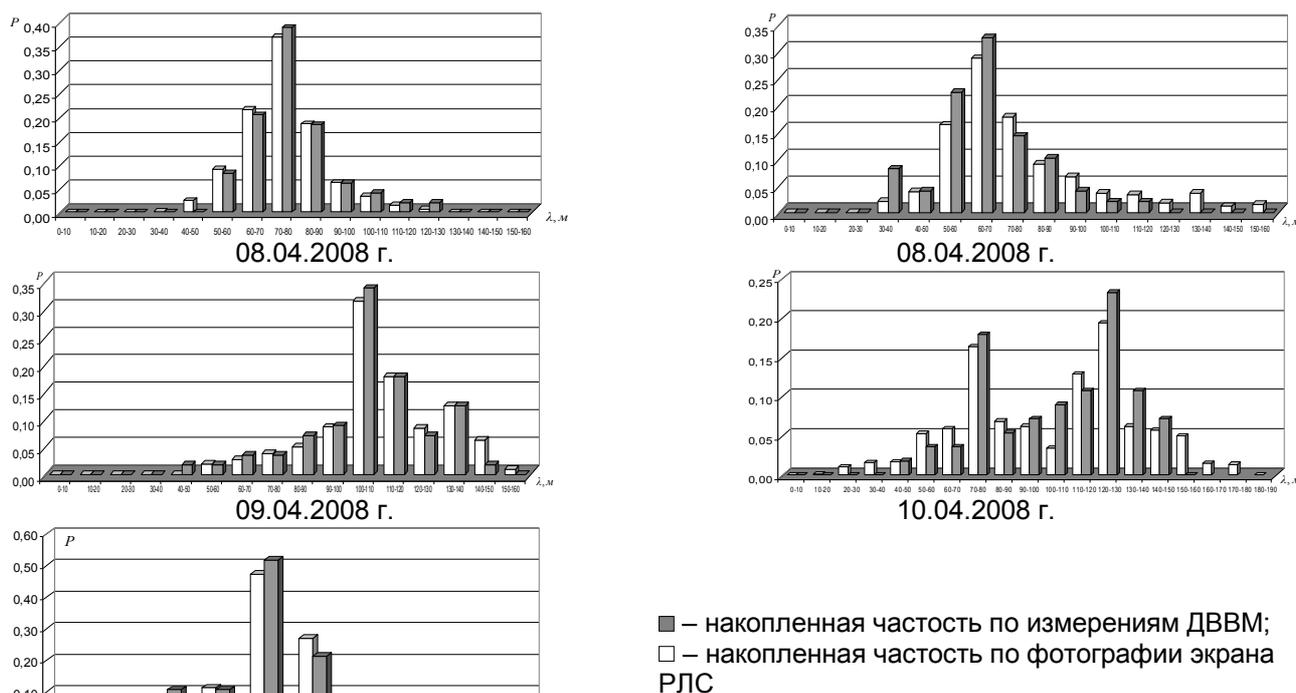


Рисунок – Сводные гистограммы распределения длин волн в волновом поле, полученном с помощью съемки экрана РЛС и ДВВМ

Из рисунка видно, что распределение длин волн в волновом поле не подчиняются нормальному закону. Особенно, когда кроме ветровых волн присутствуют волны зыби (рисунок за 10.04.2009 г.).

Анализ сводных гистограмм показывает, что распределение длин волн, полученных по снимкам РЛС и замерам ДВВМ, практически совпадают. Разница в распределении заметна лишь на участках развивающихся и угасающих волн. Однако для судоводителя особое значение имеют волны, преобладающие в волновом поле. А с этим условием целесообразно использование ДВВМ, так как это прибор, позволяющий оперативно получать необходимую информацию о волновом поле всего на основе нескольких замеров за время квазистационарности волнового поля.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Оценки длины волны в групповых наблюдениях ортогонально-линейным волномером в сопоставлении с другими способами / Д.Е. Брынский, С.В. Касилов, Д.В. Сердюков, В.И. Сичкарев // Судовождение-2000: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. - Новосибирск, 2000. -С. 34-43.

2 Сичкарев, В.И. Измерение высот и длин волн ортогонально -линейным длино-высото-волномером / В.И. Сичкарев, В.К. Лубковский // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -Новосибирск, 2007. -№1. -С. 48-54.

3 Лубковский, В.К. Определение ветро-волновых потерь скорости судов смешанного плавания с помощью ортогонально-линейного волномера / В.К. Лубковский // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -Новосибирск, 2007. -№1. -С. 68-73.

4 Лубковский, В.К. Анализ волнового поля по фотоснимкам экрана судовой РЛС / В.К. Лубковский // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -Новосибирск, 2008. - №2. -С. 115-119.

5 Длин, А.М. Математическая статистика / А.М. Длин. -М.: Высш. шк., 1975. -13 с.

6 Мореходные таблицы: МТ-2000 / ГУНиО МО РФ. -СПб, 2002. -576 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: съемка, длинна волны, сравнительный анализ, обработка статистических данных

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Лубковский Владислав Константинович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## ОСЕСИММЕТРИЧНАЯ ТУРБУЛЕНТНАЯ СТРУЯ В СПУТНОМ ПОТОКЕ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

М.А. Полуни

AXISYMMETRIC TURBULENT JET MODEL INTO COCURRENT FLOW

«Novosibirsk state academy of water transport»

M.A. Polunin

Application of common equation of motion with variable mass, under condition of surplus momentum conservation, to approximate determination parameters of axisymmetric turbulent jet model into cocurrent flow.

Применение общего уравнения движения с переменной массой, с учетом сохранения избыточного импульса, к приближенному определению параметров распространения осесимметричной струи в спутном потоке.

Как известно границы осесимметричной затопленной струи, распространяющейся в покоящейся жидкости, имеют прямолинейное очертание, так как с небольшой погрешностью выполняется условие сохранения импульса  $mu = \text{Const}$  вдоль оси струи вкупе с условием постоянства давления по поперечному сечению.

В случае наличия спутного потока жидкости границы струи становятся криволинейными, при этом по длине струи практически наблюдается равенство постоянства избыточного импульса  $m(u - u_H) = \text{Const}$ .

Коновалов И.М. в конце 30-х годов XX века получил зависимости распространения затопленной струи в покоящейся жидкости на основании общего уравнения движения жидкости с переменным расходом. Теоретические построения Коновалова И.М. замыкаются эмпирическим коэффициентом  $m = 2,9$ , характеризующим интенсивность расширения поперечного сечения струи за счет вихревого переноса импульса.

Используя подход Коновалова И.М., рассмотрим задачу о турбулентной струе в спутном потенциальном потоке.

Основное уравнение динамического равновесия потока с переменным расходом (при  $\Delta S = 1$ ) записывается в форме

$$-\frac{\gamma}{g} \omega \frac{du}{dt} - k\gamma F \frac{(u - u_H)^2}{2g} = 0, \quad (1)$$

где  $u$  — средняя скорость в поперечном сечении струи;

$u_H$  — скорость спутного потока;

$k$  — удельное сопротивление;

$F$  — смоченный периметр

$$F = 2\sqrt{\tau\omega};$$

$\omega$  — площадь поперечного сечения струи диаметром  $d$  на расстоянии  $S$  от источника,

$$\omega = \pi d^2 / 4.$$

После подстановки и сокращений получаем

$$-\frac{du}{dt} - k\sqrt{\pi} \frac{(u - u_H)^2}{\sqrt{\omega}} = 0. \quad (2)$$

Умножая обе части равенства на  $dS$  и выражая  $\omega$  через  $\omega_0$  в виде

$$\omega = \omega_0 \frac{u(u - u_H)}{u_0(u_0 - u_H)},$$

где  $u_0$  — скорость в начальном сечении струи, получаем

$$-\frac{udu}{(u - u_H)^2} - \frac{k\sqrt{\pi}}{\sqrt{\omega_0}} \frac{\sqrt{u(u - u_H)}}{\sqrt{u_0(u_0 - u_H)}} dS = 0. \quad (3)$$

$\omega_0$  — площадь поперечного сечения отверстия источника струи;

$d_0$  — диаметр отверстия источника струи

$$\omega_0 = \pi d_0^2 / 4 \quad (4)$$

Учитывая выражение (4) и что  $1/2k = m = 2,9$ , окончательно получаем

$$-\frac{udu}{(u-u_H)^2 \sqrt{u(u-u_H)}} - \frac{1}{m \sqrt{u_0(u_0-u_H)}} \frac{dS}{d_0} = 0. \quad (5)$$

Решение дифференциального уравнения (4) с разделяющимися переменными находится посредством замены переменной (несколько шагов):

$$v = u - u_H; \tau = 1/v; \xi = 1/u_H + \tau.$$

Зависимость средней скорости в поперечном сечении струи

$$u = u_H \left[ \frac{0,517u_H}{\sqrt{(u_0(u_0-u_H))}} \frac{S}{d_0} + \frac{1}{\left(1 - \frac{u_H}{u_0}\right)^{\frac{3}{2}}} \right]^{\frac{2}{3}} \left\{ \left[ \frac{0,517u_H}{\sqrt{(u_0(u_0-u_H))}} \frac{S}{d_0} + \frac{1}{\left(1 - \frac{u_H}{u_0}\right)^{\frac{3}{2}}} \right]^{\frac{2}{3}} - 1 \right\}^{-1} = \phi(u_H; S). \quad (6)$$

Диаметр струи в произвольном сечении по длине струи определяется по формуле

$$d = d_0 \sqrt{\frac{u_0(u_0-u_H)}{u(u-u_H)}}. \quad (7)$$

Сопоставление результатов расчета для частного случая осесимметричной турбулентной струи по формулам (6) и (7) с результатами расчетов с использованием полуэмпирической теории Абрамовича Г.И. (основной участок) указывает на расхождение в ~10-14% по диаметру струи  $d$  (рисунок).

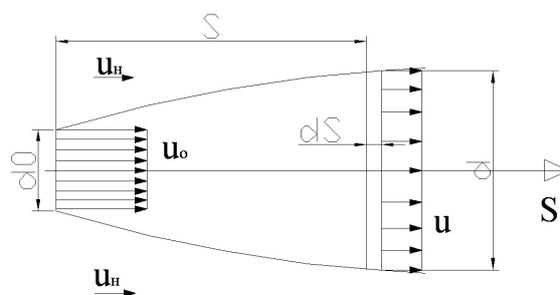


Рисунок – Расчетная схема струи

Данное расхождение может быть преодолено, в частности, введением поправочного коэффициента  $k_{\tau} \sim 0,88$  в формулу (7), что снизит различие до ~1-2% по диаметру при сохранении равенства средних скоростей по поперечному сечению струи.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Коновалов, И.М. Обтекание сооружений в потоке / И.М. Коновалов // Сб. науч. тр. / Ленинград. ин-т инженеров водн. трансп. -Л., 1939. -С. 157-181.

2 Теория турбулентных струй / Г.Н. Абрамович [и др.]; под ред. Абрамовича Г.Н. -М.: Наука, 1984. -716 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *слутный поток, турбулентная струя*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Полунин Михаил Андреевич, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

## ЗАДАЧА О ТРАЕКТОРИИ СТРУИ СУДОВОГО ДВИЖИТЕЛЯ НА ИЗЛУЧИНЕ РЕКИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**М.А. Полунин**

**TASK ON TRAJECTORY OF SHIP PROPULSIVE JET AT SCROLL**  
 «Novosibirsk state academy of water transport»  
 M.A. Polunin

Application of axis jet diffusion in plane-parallel drifting flow model to determine trajectory of ship propulsive jet at scroll.

Применение модели распространения осесимметричной струи в плоскопараллельном сносном потоке к определению траектории струи судового движителя на излучине реки.

При движении судна по ограниченному фарватеру (малая река, судоходный канал) происходит трансформация полей скоростей и давлений в некоторой окрестности корпуса судна.

на, что ведет к рассогласованию в системе поток-русло: наблюдаются деформации дна и береговых откосов под действием встречного потока, волн, струи судового движителя, которые накладываются на естественные русловые деформации. Для оценки деформаций русел ограниченных фарватеров необходимо решить ряд задач, среди которых можно выделить задачу о воздействии вогнутого берега реки струей судового движителя того или иного типа при движении судна по искривленному участку русла водного пути. Реальные факты разрушения береговых откосов струей движителя приведены, в частности, в работе Федорова Г. и Зернова Д. [5]. Для решения выделенной задачи необходимо знать:

- поведение струи движителя в круговом сносящем потоке;
- скоростное поле струи и его трансформацию по мере удаления от движителя;
- механизм разрушения берегового откоса струей движителя.

Количественную оценку изменения параметров турбулентной струи в круговом сносящем потоке можно дать на основании подхода Волинского-Абрамовича, позволяющего получить несложное дифференциальное уравнение. Отличие рассматриваемой задачи от задачи, решенной Волинским-Абрамовичем, состоит в том, что скоростное поле сносящего потока неравномерно (происходит изменение скорости как по величине, так и по направлению).

Сущность вышеуказанного подхода заключается в рассмотрении динамического равновесия участка искривленной струи, которая при взаимодействии со средой рассматривается как стреловидное крыло.

Кривизна траектории струи определяется из условия уравнивания силы гидродинамического давления на поверхность элемента струи центробежной силой, возникающей при движении частиц жидкости по искривленным траекториям. Под траекторией струи понимается траектория оси струи, за которую принимается линия тока, где наблюдаются максимальные скорости.

Рассматриваем круговой поток с распределением скоростей по закону площадей (характерно, в частности, для движения воды на излуцинах рек). Струя судового движителя исследуется в системе координат, связанной с корпусом судна. В этой системе координат струю судового движителя можно приближенно заменить затопленной струей, распространяющейся в круговом сносящем потоке.

Условие динамического равновесия в общем виде записывается следующим образом

$$dF_{цб} = -dF_{гд}, \quad (1)$$

где  $dF_{цб}$  – центробежная сила, действующая на элемент струи, Н;

$dF_{гд}$  – сила гидродинамического давления на элемент струи, Н.

Считаем, что силы приложены в точке О элемента струи (рисунок 1).

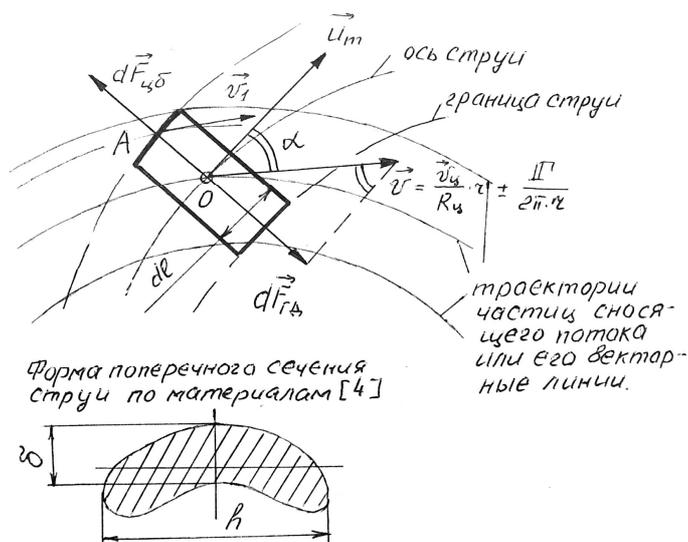


Рисунок 1 – Динамическое равновесие элемента струи

При определении силы гидродинамического давления считаем, что величина скорости  $v_1$  в точке А приблизительно равна скорости в центре тяжести О элемента струи

$$dF_{\text{эо}} = 0,5c_n h \left( \frac{v_u}{R_u} r \pm \frac{\Gamma}{2\pi r} \right)^2 \sin^2 \alpha \rho d\ell, \quad (2)$$

- где  $c_n$  – коэффициент [4],  $c_n = 1$ ;  
 $h$  – ширина поперечного сечения струи, м;  
 $v_u$  – скорость судна на установившейся циркуляции судна, м/с;  
 $R_u$  – радиус установившейся циркуляции судна, м;  
 $\alpha$  – угол между векторами скоростей  $u_m$  и  $v$ ;  
 $u_m$  – скорость на оси струи, м/с;  
 $\Gamma$  – циркуляция скорости на излучине реки, м<sup>2</sup>/с  
 $\Gamma = 2\pi r c$ ;  
 $c$  – средняя по живому сечению скорость реки, м/с;  
 $d\ell$  – длина по оси струи выделенного элементарного объема, м.

В формуле (2) и далее по тексту знаки «+» и «-», связывающие члены, стоящие в скобках в правой части уравнения, означают движение судна против и по течению реки соответственно.

Центробежная сила, действующая на элемент струи

$$dF_{\text{цб}} = \frac{u_m^2}{R} \rho S d\ell, \quad (3)$$

- где  $u_m$  – скорость на оси струи в точке О, м/с;  
 $R$  – радиус кривизны траектории струи в точке О, м,  
 $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  
 $S$  – площадь поперечного сечения струи, м<sup>2</sup>.

Окончательно имеем

$$\frac{u_m^2}{R} S = -0,5c_n h \left( \frac{v_u}{R_u} r \pm \frac{\Gamma}{2\pi r} \right)^2 \sin^2 \alpha. \quad (4)$$

Для решения уравнения 4 необходимо знать законы изменения  $u_m, S, h, R, \alpha$  в зависимости от длины дуги  $\ell$  оси струи, а также величины  $v_u, R_u$  и  $\beta_1$  (угол дрейфа) для рассматриваемого случая установившейся циркуляции. Величины  $v_u, R_u$  и  $\beta_1$  можно определить по методике, изложенной в работе [3], которая позволяет для данного типа судна и путевых условий построить диаграмму поворотливости судна:

$$R_u = R_u(\alpha_\eta); v_u = v_u(\alpha_\eta); \beta_1 = \beta_1(\alpha_\eta).$$

где  $\alpha_\eta$  – угол перекладки руля.

В отношении  $u_m, S, h$  воспользуемся рекомендациями работы [4] и, следуя за ее авторами, будем считать, что количество движения в струе в проекции на радиус-вектор в точке О оси струи остается неизменным и равным начальному импульсу струи в проекции на радиус-вектор центра тяжести гребного винта или выходного сечения водометного комплекса, так как скорость сносящего потока не дает проекции на это направление, что приводит к следующему равенству

$$u_0^2 \frac{\pi D_0^2}{4} \sin(\beta_1 + \gamma_0) = u_m^2 S \sin \alpha; \quad (5)$$

где  $\gamma_0 = \arcsin \left[ \left( \frac{\ell_1}{r_0} \right) \cos \beta_1 \right]$  (рисунок 2);

$D_0$  – диаметр гидравлического сечения движителя, м;

$$r_0 = \sqrt{R_u^2 + \ell_1^2 - 2R_u \ell_1 \cos \left( \frac{\pi}{2} + \beta_1 \right)}, \text{ м.}$$

Ширина сечения струи  $h$ , согласно [4], есть линейная функция длины дуги  $\ell$  оси струи

$$h = 0,25D_0 + 0,22\ell. \quad (6)$$

В принятой системе координат (рисунок 2) можно приближенно принять,  $\ell \sim x$  на расстоянии 20-40 м от источника струи (двигатели пассажирских и транспортных речных судов), то есть

$$h = 0,25D_0 + 0,22x . \quad (7)$$

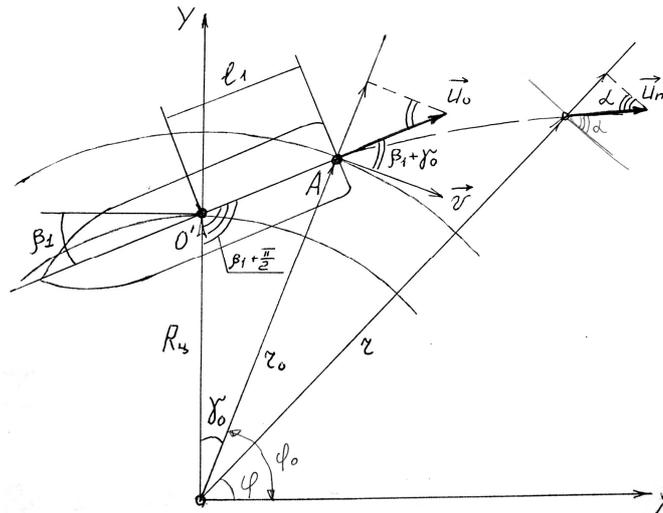


Рисунок 2 – Расчетная схема.

Радиус кривизны оси струи,  $\sin \alpha$  и радиус-вектор  $r$  текущей точки по оси струи в декартовых координатах имеют следующий вид:

$$R = \frac{(1+y'^2)^{1,5}}{y''} ; \quad (8)$$

$$\sin \alpha = \frac{yy' + x}{\sqrt{(x^2 + y^2)(1+y'^2)}} \sin^2 \alpha ; \quad (9)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} . \quad (10)$$

Подставляем (5), (7)-(10) в (4), предварительно умножив правую часть уравнения (4) на  $\sin \alpha$ , и получаем

$$u_0^2 \frac{\pi D_0^2}{4} \sin(\beta_1 + \gamma_0) y'' = -0,5c_n (2,25D_0 + 0,22x) \left( \frac{v_u}{R_u} \sqrt{x^2 + y^2} + \frac{\Gamma}{2\pi\sqrt{x^2 + y^2}} \right) \frac{(yy' + x)^3}{(x^2 + y^2)} . \quad (11)$$

Разрешаем (11) относительно старшей производной

$$y'' = \frac{-0,5c_n (2,25D_0 + 0,22x)}{u_0^2 \pi D_0^2 \sin(\beta_1 + \gamma_0)} \left( \frac{v_u}{R_u} \sqrt{x^2 + y^2} + \frac{\Gamma}{2\pi\sqrt{x^2 + y^2}} \right) \frac{(yy' + x)^3}{(x^2 + y^2)} . \quad (12)$$

Для нахождения частных решений дифференциального уравнения (12) был применен метод Рунге-Кутты для численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка, разрешенных относительно старшей производной [2]. Расчеты выполнены на ЭВМ при следующих исходных данных:

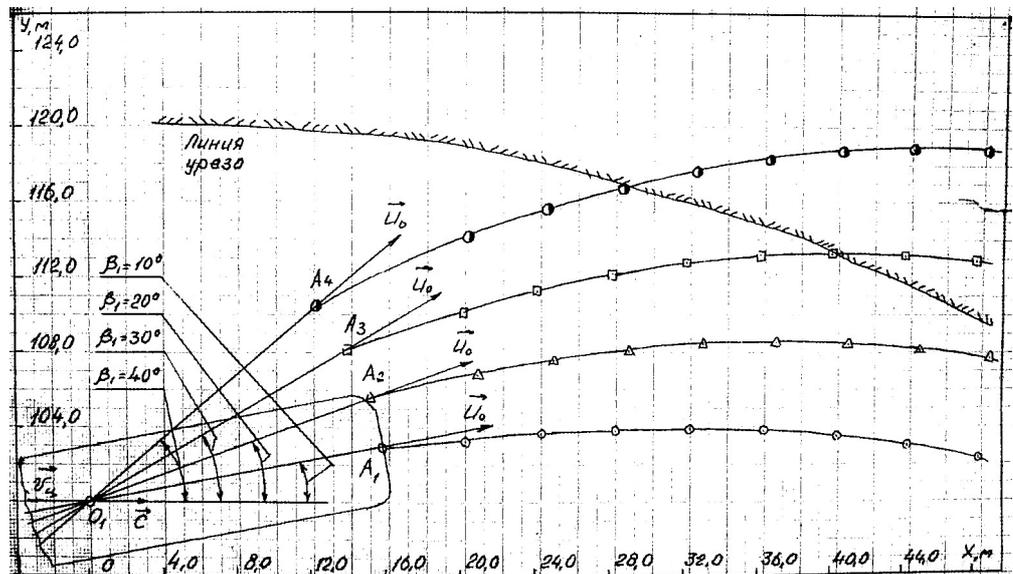


Рисунок 3 – Расчетные траектории оси струи

$u_0 = 10$  м/с;  $v_u = 2$  м/с;  $c = 0,5$  м/с;  $R_u = 100$  м;  $D_0 = 1$  м;  $\ell_1 = 16$  м. Угол дрейфа  $\beta_1$ , рассматриваемый в качестве параметра, принимал следующие значения: 100, 200, 300, 400. Радиус циркуляции  $R_u$ , половина длины судна  $\ell_1$  и угол дрейфа  $\beta_1$  определяли начальные условия:  $x_0; y_0; y'(x = x_0)$ .

Результаты расчета траекторий струй судового движителя при различных углах дрейфа  $\beta_1$  представлены на рисунке 3.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гришанин, К.В. Динамика русловых потоков / К.В. Гришанин. -Л.: Гидрометеоздат, 1979. -311 с.

2 Камке, Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям: пер. с нем. / Э. Камке. -4-е изд., испр. -М.: Наука, Гл. ред. физ-мат лит., 1971. -576 с.

3 Павленко, В.Г. Грузовые транспортные средства для малых рек / В.Г. Павленко, Е.М. Сахновский, Л.Н. Врублевская. -Л.: Судостроение, 1985. -321 с.

4 Теория турбулентных струй / Г.Н. Абрамович [и др.]; под ред. Г.Н. Абрамовича. -М.: Наука, 1984. -716 с.

5 Федоров, Г. Влияние скоростей движения крупнотоннажных судов на откосы канала / Г. Федоров, Д. Зернов // Реч. трансп. -1964. -№10. -С. 33-42.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* струя судового движителя, излучина реки, сносящий поток

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* Полунин Михаил Андреевич, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:* 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

### **УТОЧНЕНИЕ ГРАНИЦ КОНТУРА ПОГРЕШНОСТЕЙ КООРДИНАТ GPS-ПРИЁМНИКА GP-37**

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»

**В.А. Кац, Ю.А. Комаровский**

#### **REFINING THE BOUNDS OF ERROR ENVELOPE FOR GPS RECEIVER GP-37**

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

V.A. Katz, Yu.A. Komarovskiy

It is shown that eliminating periodic fluctuations of the fix coordinates with short periods yields more informative error envelope.

Показано, что устранение короткопериодных флуктуаций обсервованных координат вызывает увеличение информативности контура погрешностей.

Поскольку функция распределения плановых координат, получаемых от судовых GPS-приёмников, существенно отличается от Гауссовской, то в работе [1] был предложен контурный метод оценки, который свободен от вида предполагаемого закона распределения случайных величин на плоскости. Данный метод позволяет получать координаты границ фигуры погрешностей, внутри которой находится истинное место судна с любой вероятностью. Апробация контурного метода на массивах данных, полученных летом и осенью 2005 года в Уссурийской астрофизической обсерватории ДВО РАН [2] и осенью 2006 года на полигоне Артёмовской топографо-геодезической экспедиции Приморского аэрогеодезического предприятия [3], позволила убедиться в преимуществах метода над традиционным подходом, основанным на эллипсе погрешностей. Тем не менее, был выявлен один недостаток, характеризующийся снижением чувствительности, причина которого кроется не в самом контурном методе, а в разрядности динамической части обсервованных координат, предоставляемых приёмником GP-37. Цель данной работы заключается в описании способа преодоления этого недостатка.

Спектральный анализ массивов обсервованных координат, представленных в виде временных рядов, позволил установить, что на долю гармоник с периодами менее 0,1 ч приходится незначительная часть спектра (в качестве примера рисунок 1).

Анализ показал, что основными источниками колебаний обсервованных координат в высокочастотной части спектров являются короткопериодные флуктуации полного электронного содержания трансферного канала распространения сигналов спутников с пе-

риодом в несколько минут [4]. С периодами от одной минуты и с максимумом 15-20 минут флуктуации координат связаны с распространением среднemasштабных перемещающихся ионосферных возмущений [5], что можно видеть на рисунке 1. С периодами от 0 до 1 минуты происходят флуктуации координат из-за их округления самим GPS-приёмником.

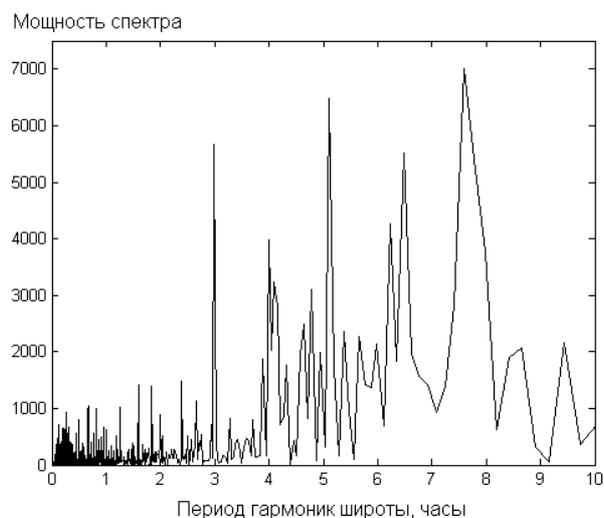


Рисунок 1 – Спектр гармоник обсервованной широты приёмника GP-37

Выводимые на внешние устройства обсервованные координаты алгоритм обработки GPS-приёмника GP-37 округляет до четырёх знаков после запятой. Такая разрядность не позволяет рассчитывать с достаточной точностью координаты границ контура погрешностей. Отсюда вытекает задача искусственного увеличения разрядности обсервованных координат. Её принято решать при помощи сглаживания.

Предположим, что в массиве данных, полученных в наблюдениях в 2006 году на полигоне Артёмовской топографо-геодезической экспедиции, ничтожно мало аномальных выбросов обсервованных координат. Тогда с помощью простого скользящего среднего без взвешивания можно, во-первых, избавиться от несистематических составляющих временного ряда, так как они будут компенсировать друг друга, во-вторых, повысить разрядность обсервованных координат.

Представим, что широта  $\varphi$  является непрерывной случайной величиной. Тогда осреднённое значение широты на момент времени  $t_i$  определится как

$$\varphi(t_i) = \frac{1}{\tau} \int_{t_i - \tau/2}^{t_i + \tau/2} \varphi(t) dt,$$

где  $\tau$  – интервал осреднения, от продолжительности которого зависит спектр ослабляемых частот флуктуаций. Чем он короче – тем выше частота правой границы спектра устраняемых флуктуаций.

Полученный в ходе экспериментальных наблюдений массив данных имеет дискретные значения широт и долгот, зафиксированных приёмником GP-37 через одну секунду. Поэтому в нашем случае осреднённая широта (и долгота), соответствующая моменту времени  $t_i$ , рассчитывалась по формуле

$$\varphi(t_i) = \frac{1}{N} (\varphi_{i-N/2} + \dots + \varphi_i + \dots + \varphi_{i+N/2}) = \frac{1}{N} \sum_{j=i-N/2}^{i+N/2} \varphi_{ij},$$

где  $N$  – интервал осреднения, представляющий нечётное число секунд, за которое происходит сглаживание;

$i$  – середина интервала сглаживания.

Если сглаживаемый временной ряд насчитывает  $k$  реализаций, то необходимо, чтобы

$$k - \frac{(N-1)}{2} \geq i \geq \frac{(N-1)}{2}.$$

Для сглаживания наблюдений с учётом результатов работ [4, 5] была выбрана величина  $N$  равной 61 секундам. Увеличение интервала сглаживания может привести к нежелательному устранению влияния среднemasштабных перемещающихся ионосферных возмущений

на точность обсервованных координат. Поскольку сглаживание неизбежно смещает статистические оценки исходной выборки [6], то крайне необходимо сравнить статистические оценки генеральных средних и средних квадратических отклонений (СКО) исходной выборки и сглаженной. Для этого обратимся к таблице 1, в которую помещены результаты вычислений средних и СКО координат исходного массива наблюдений, полученного осенью 2006 года на полигоне Артёмовской топографо-геодезической экспедиции (без сглаживания), и сглаженного массива.

*Таблица 1 – Статистические характеристики распределения координат GP-37 в наблюдениях в 2006 году в Артёме*

Статистическая характеристика	Без сглаживания	После сглаживания
Средняя широта, мин	0,573999	0,573999
Средняя долгота, мин	0,768211	0,768214
СКО широты, м	1,3545	1,3206
СКО долготы, м	0,9825	0,9581

Анализ таблицы 1 позволяет сделать выводы о том, что сглаживание с помощью простого скользящего среднего не изменил величину средней широты, а долгота изменилась на 0,00003 минуты (0,004 м) к востоку. Как и следовало ожидать, уменьшились средние квадратические отклонения широты (на 0,0339 м, на 2,5%) и долготы (на 0,0244 м, на 2,48%). Поэтому будем считать, что процедура сглаживания исходного массива изменила его незначительно, но увеличила разрядность сглаженных координат.

Для расчётов границ контуров погрешностей для вероятностей 0,68 и 0,95 применим методику вычислений, использованную в работах [2, 3]. Так как разрядность координат увеличилась, то в данных расчётах границ контуров погрешностей ширина секторов уменьшена с 10° до 5°. Полученные таким образом контуры погрешностей изображены на рисунке 2. На нём тонкой линией представлен контур погрешностей, соответствующий вероятности 0,68, а жирной линией – контур погрешностей, соответствующий вероятности 0,95.

Результаты вычислений параметров соответствующих эллипсов погрешностей сведены в таблицу 2, куда для сравнения помещены аналогичные параметры эллипсов погрешностей исходного массива (без сглаживания), полученные ранее в работе [3].

*Таблица 2 – Параметры эллипсов погрешностей исходного и сглаженного массивов координат GP-37 в наблюдениях в 2006 году в Артёме*

Параметр	Без сглаживания	После сглаживания
$\bar{r}$	-0,0014	0,0030
$\alpha^\circ$	359,9062	0,2634
$a_{68}$ , м	2,0446	1,9937
$b_{68}$ , м	1,4831	1,4464
$a_{95}$ , м	3,3154	3,2326
$b_{95}$ , м	2,4048	2,3452

При обработке исходных данных корреляционный момент был равен -0,0014227. Обработка сглаженных координат привела к величине корреляционного момента, равного 0,00379851. Вследствие этого выборочный коэффициент корреляции  $\bar{r}$  для сглаженного массива данных стал положительным и равным 0,003. Поэтому угол наклона большей полуоси эллипса погрешностей относительно истинного меридиана  $\alpha^\circ$  для сглаженных координат сместился к востоку на 0,3572° и стал равным 0,2634°. Из таблицы 2 следует, что сглаживание привело к уменьшению размеров полуосей эллипсов погрешностей. Более всего уменьшились полуоси эллипса погрешностей, соответствующего вероятности 0,95 ( $a_{95}$ ,  $b_{95}$ ).

Анализ рисунка 2 полезнее выполнять в сравнении с аналогичным рисунком в статье [3]. Сравнение позволяет сделать вывод о значительном изменении формы контуров после сглаживания. Если на рисунке работы [3] можно видеть явную конгруэнтность линий контуров, то на рисунке 2 она нарушается. На нём наблюдается более плавная линия границы внутреннего контура, соответствующего вероятности 0,68, по сравнению с линией границы внешнего. Граница контура, соответствующего вероятности 0,95, после сглаживания распо-

лагается ближе к границе эллипса погрешностей.

Как видно на рисунке 2, северные части площадей контуров погрешностей заметно больше южных. Объяснить этот факт можно асимметрией расположения спутников системы Навстар GPS. В работах [7, 8] показано, что для широты Владивостока в северной части небесной сфере есть довольно обширная область, в которой не наблюдаются спутники. Это, во-первых, объясняет сам факт асимметрии контуров погрешностей, во-вторых, позволяет сделать предположение о систематической положительной погрешности измерения псевдодальностей приёмником GP-37. Чтобы проверить такое предположение, необходимо провести подобные исследования точности GPS-приёмника другого типа.

В работе [1] было предложено в качестве меры точности определения обсервованных координат использовать площадь контура погрешностей. Поэтому в заключении выполним сравнение размеров площадей эллипса погрешностей и контура погрешностей, соответствующих вероятности 0,95. Для вычисления площади эллипса воспользуемся известной формулой  $S = \pi a_{95} b_{95}$ . Получим формулу для вычисления площади контура погрешностей.

Пусть  $\Delta S$  - площадь элементарного треугольника с высотой  $\rho$  и углом  $\Delta\alpha$ , из которого опущена высота  $\rho$ . Если  $\Delta\alpha$  измеряется в радианах, а  $\rho$  в метрах, то

$$\Delta S \approx \frac{(\rho^2 \Delta\alpha)}{2}.$$

При бесконечно малых секторах  $\Delta\alpha$ , на которые разделён контур погрешностей, площадь контура погрешности  $S$  выразится следующей формулой:

$$S = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\rho^2}{2} d\alpha.$$

В нашем случае контур погрешностей получен по 72 секторам шириной  $\Delta\alpha = 5^\circ$  (0,087266 радиан). Поэтому расчётная формула будет иметь следующий вид

$$S = \frac{\Delta\alpha}{2} \sum_{i=1}^{72} \rho_i^2.$$

В результате вычислений площадь эллипса погрешностей оказалась равной 23,82 м<sup>2</sup>, а площадь внутри контура погрешностей составила величину 25,31 м<sup>2</sup>. Следовательно, в случае приёмника GP-37 для вероятности 0,95 площадь контура погрешностей на 6,25% больше площади эллипса погрешностей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Комаровский, Ю.А. Контурный метод оценки точности ОМС приёмником СРНС Навстар GPS / Ю.А. Комаровский // Вест. Морского гос. ун-та. Серия: Судовождение. - Владивосток, 2005. -Вып. 9. -С.10-13.
- 2 Кац, В.А. Контур погрешностей координат GPS-приёмника / В.А. Кац, Ю.А. Комаровский // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2008. -№1. -С.133-137.
- 3 Кац, В.А. Влияние места установки антенны GPS-приёмника на точность определения координат / В.А. Кац, Ю.А. Комаровский // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. - 2008. -№2. -С.112-115.

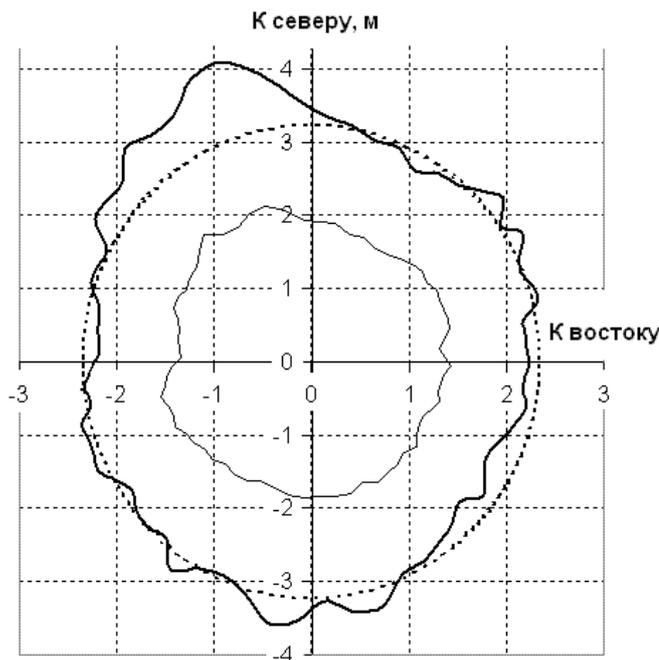


Рисунок 2 – Контур и эллипс погрешностей сглаженных координат

4 Афраимович, Э.Л. Восстановление полного электронного содержания по данным двухчастотного GPS-приёмника, установленного на борту низкоорбитального искусственного спутника Земли / Э.Л. Афраимович, П.В. Татаринцов // Электронный журнал «Исследовано в России». -2005. -С.474-481. (<http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2005/042.pdf>)

5 Шагимуратов, И.И. Исследование структуры перемещающихся ионосферных возмущений на основе томографических экспериментов / И.И. Шагимуратов, И.В. Карпов, С.П. Кшевецкий, Ю.Я. Ружин // Геомагнетизм и аэрномия. -2001. Т.41, №3. -С. 394-399.

6 Поллард, Дж. Справочник по вычислительным методам статистики / Дж. Поллард. -М.: Финансы и статистика, 1982. -344 с.

7 Комаровский, Ю.А. Наблюдаемость спутников СРНС Навстар GPS / Ю.А. Комаровский // Вестник Морского государственного университета. Серия: Судовождение. –Владивосток, 2007. -Вып. 15. -С. 35-41.

8 Комаровский, Ю.А. Четыре проблемы использования Навстар GPS / Ю.А. Комаровский // Сб. докладов научн.-практ. конф. «Безопасность судоходства в Дальневосточном бассейне». 24-25 окт. 2007 г. / Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2007. -С. 207-214.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *точность определения координат, система Навстар GPS, контурный метод оценки точности, эллипс погрешностей*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Кац Владимир Александрович, инженер информационного отдела ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

## **СОУДАРЕНИЕ СУДОВ ЧЕРЕЗ ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ КРАНЦЫ**

**ФГОУ ВПО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»**

**В.Г. Непейвода**

**IMPACT OF COURTS THROUGH PNEVMATICHESKIE KRANTSY**  
«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»  
V.G. Nepejvoda

The general equations of impact of two courts through pneumatic krantsy with the account of resistance of water to movement of courts are worked out. Results of numerical probe of impact of courts are resulted.

Составлены общие уравнения соударения двух судов через пневматические кранцы с учётом сопротивления воды движению судов. Приведены результаты численного исследования соударения судов.

Рассматривается центральное соударение двух судов через пневматические кранцы цилиндрической формы, которые расположены симметрично на линии, проходящей через центры тяжести взаимодействующих судов.

Для исследования приняли следующие допущения: оболочка каждого кранца невесомая, нерастяжимая, абсолютно гибкая; деформации корпусов судов малы и ими можно пренебречь; в период соударения продольные оси симметрии судов остаются параллельными; сопротивление жидкости каждого из сближающихся судов пропорционально квадрату его скорости; процесс сжатия воздуха в оболочке каждого кранца происходит без теплообмена с окружающей средой, то есть адиабатный; контактное давление кранца с бортами судов равно избыточному давлению в оболочке кранца.

Для исследования соударения судов используем расчётную схему и дифференциальные уравнения движения судов при соударении, в общем виде приведенные в [1]:

$$(M_1 + \lambda_1) \frac{dV_1}{dt} = -[P_n(y)S(y) + R_{c1}]; \quad (1)$$

$$(M_2 + \lambda_2) \frac{dV_2}{dt} = [P_n(y)S(y) + R_{c2}]. \quad (2)$$

где  $M_1, M_2$  – массы первого и второго судов;

$\lambda_1, \lambda_2$  – присоединённые массы воды соударяющихся судов;

$V_1, V_2$  – скорости первого и второго судов относительно неподвижной системы отсчёта;

$P_n$  – избыточное давление;

$S(y)$  – площадь контакта кранцев с бортами судов, которая является функцией деформации кранца  $y$ ;

$R_{C1}, R_{C2}$  – силы сопротивления жидкости движению соответственно первого и второго судна.

Присоединённые массы судов можно определять по приближённой формуле, предложенной С.Н. Благовещенским [2]

$$\lambda = 0,08 \zeta_1 \gamma L B^2 \frac{\alpha^2}{1 + \alpha}, \quad (3)$$

где  $\zeta_1$  – поправочный коэффициент;

$\gamma$  – удельный вес воды;

$L, B$  – длина и ширина судна;

$\alpha$  – коэффициент полноты ватерлинии.

Поправочный коэффициент определяется по формуле Пабста

$$\zeta = \frac{L/B}{\sqrt{1+(L/B)^2}} \left[ 1 - 0,425 \frac{L/B}{1+(L/B)^2} \right]. \quad (4)$$

Силы сопротивления жидкости равны:

$$R_{C1} = \frac{C_1 S_1 \rho V_1^2}{2} = K_{C1} V_1^2; \quad (5)$$

$$R_{C2} = \frac{C_2 S_2 \rho V_2^2}{2} = K_{C2} V_2^2, \quad (6)$$

где  $C_1, C_2$  – эмпирические коэффициенты сопротивления;

$S_1, S_2$  – площади продольного сечения подводной части судна;

$\rho$  – плотность жидкости.

Коэффициенты сопротивления при движении судна перпендикулярно диаметральной плоскости зависят от соотношения ширины судна осадки и коэффициента полноты судна. Их значения лежат в диапазоне 0,55-1,20 [3].

К уравнениям (1), (2) добавим дифференциальное уравнение адиабаты

$$P_0 W_0^k = P(y) W(y)^k. \quad (7)$$

где  $P_0$  – начальное абсолютное давление газа в оболочке каждого кранца;

$W_0$  – начальный объём каждого кранца;

$P(y)$  – текущее абсолютное давление в каждом кранце;

$W(y)$  – текущий объём каждого кранца;

$y$  – деформация кранца;

$k$  – показатель адиабаты.

Учитывая, что абсолютное давление в кранце равно сумме атмосферного и избыточного давлений, из равенства (7) найдём закон изменения избыточного давления в оболочке одного кранца

$$P_i(y) = \frac{P_0 W_0^k}{W(y)^k} - P_a, \quad (8)$$

где  $P_a$  – атмосферное давление воздуха.

Текущий объём и площадь контакта с поверхностями взаимодействующих судов цилиндрического кранца с полусферическими оконечностями соответственно равны [4]:

$$W(y) = \frac{\pi(H_0^2 - y^2)}{4} (L_r - H_0) + 2(Ay^2 + By + C); \quad (9)$$

$$S(y) = (L_r - H_0) \frac{\pi y}{2} + 2Ky^2, \quad (10)$$

где  $H_0$  – диаметр кранца;

$$A = -0,219H_0; B = -0,00183H_0^2; C = 0,262H_0^3; K = 2,764.$$

В соответствии с расчётной схемой деформация оболочки (проекция относительного перемещения судна 1 на ось  $Oy$  подвижной системы координат  $zOy$ ) равна

$$y = y_{11} - y_{21}, \quad (11)$$

где  $y_{11}$  – проекция абсолютного перемещения судна 1 на ось Oy;

$y_{21}$  – проекция переносного перемещения судна 1 на ось Oy.

Из (8) следует, что  $V$  – относительная скорость сближения судов, равная

$$V = V_1 - V_2. \quad (12)$$

Дифференциальные уравнения (1), (2) решаются с учётом зависимостей (3)-(6), (8)-(10), совместно с уравнениями:

$$\frac{dy_{11}}{dt} = V_1; \quad \frac{dy_{21}}{dt} = V_2. \quad (13)$$

Дифференциальные уравнения (1), (2), (13) описывают процесс соударения судов во времени. Результатом являются таблицы переменных  $V_1(t)$ ,  $V_2(t)$ ,  $y_{11}(t)$ ,  $y_{21}(t)$ . По формулам (8), (9), (11) рассчитываются табличные зависимости  $P_u(t)$  или  $P_u(y)$ .

Суммарное усилие, передаваемое кранцем на борта судов и погонное кольцевое усилие в оболочке кранца определяется по формулам [5]:

$$N(y) = P_u S(y); \quad T = P_u (H_0 - y)/2. \quad (14)$$

Для численного исследования соударения двух судов использовали данные о совместной стоянке в море плавбазы и промыслового судна при волнении моря 5 баллов, приведенные в работе [6].

Габаритную длину кранца  $L_z$  приняли равной 4 м; диаметр кранца  $H_0 = 2$  м.

Допустимую величину контактного давления на борт судна рассчитали по эмпирической формуле, приведенной в [7]

$$P_k = \alpha_1 \alpha_2 \left( 190 + 51 \sqrt{\Delta \cdot z \cdot 10^{-3} - 0,464} \right), \quad (15)$$

где  $\alpha_1$  – выбирается по таблицам в зависимости от водоизмещения судна и волнения, на котором предусмотрена швартовка судна;

$\alpha_2$  – также выбирается из таблиц в зависимости от назначения судна и района условий.

В соответствии с формулой (15) и таблиц в [6] получили данные для расчёта кранцевой защиты судов. За критерий расчёта кранцев выбрали допустимое контактное давление на борт малого судна.

На рисунках 1-4 приведены графики изменения во времени кинематических и энергетических характеристик соударяющихся судов, а также изменение характеристик пневматического кранца. На рисунках 5-8 представлены зависимости этих характеристик от деформации кранцев.

Выводы:

1 Удар двух судов через пневматические кранцы является упругим. После максимального сжатия кранцев накопленная потенциальная энергия сжатого газа передаётся взаимодействующим судам. В результате после восстановления кранцами начальной формы оба взаимодействующих судна приобретают кинетическую энергию.

2 Наибольшую скорость «отдачи» приобретает малое судно. В расчёте скорость отскока малого судна с учётом сопротивления жидкости составляет 78% от начальной скорости соударения.

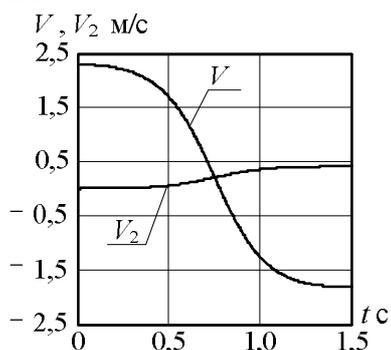


Рисунок 1 – Изменение скоростей соударяющихся судов во времени

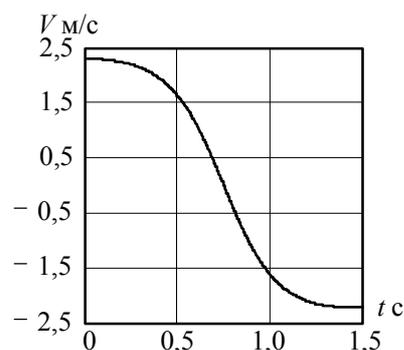


Рисунок 2 – Изменение относительной скорости судна во времени

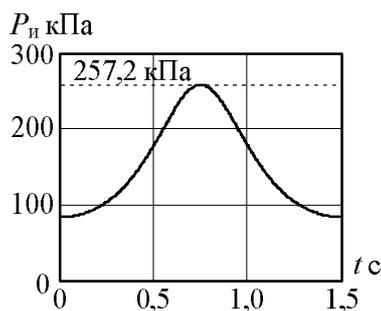


Рисунок 3 – Изменение избыточного давления в кране во времени

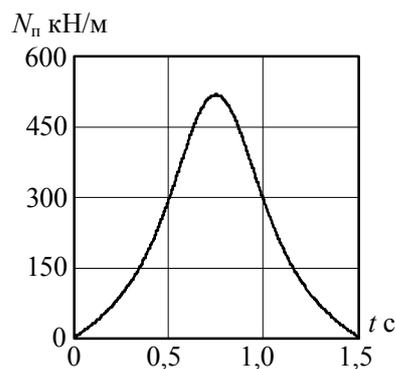


Рисунок 4 – Изменение погонного усилия, передаваемого кранцами, во времени

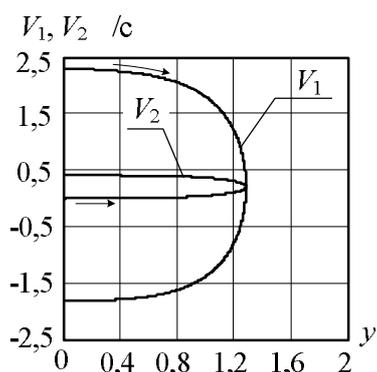


Рисунок 5 – Зависимости скоростей соударяющихся судов от деформации кранцев

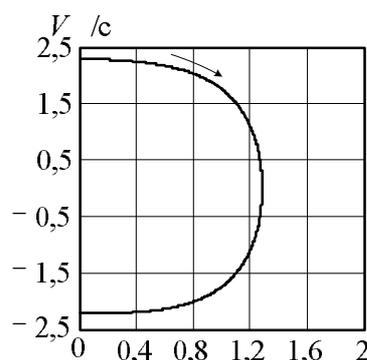


Рисунок 6 – Зависимость относительной скорости судна от деформации кранца

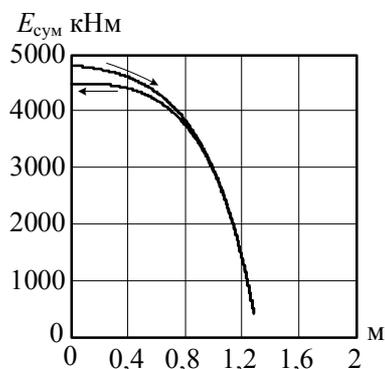


Рисунок 7 – Зависимость суммарной кинетической энергии судов от деформации кранцев

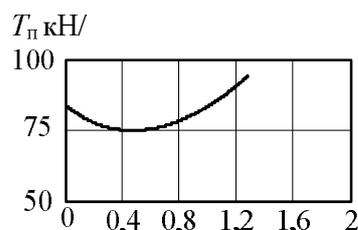


Рисунок 8 – Зависимость погонного кольцевого усилия в оболочке кранца от его деформации

3 Пневматическая кранцевая защита предотвращает жёсткое контактное соударение взаимодействующих судов, но при повышенном волнении не способствует снижению относительных перемещений соударяющихся судов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Непейвода, В.Г. Общие уравнения расчёта сжатия гидравлических кранцев. Транспортное дело России. Спец. вып. №7 / В.Г. Непейвода. -М.: 2006. -С.126-129.
- 2 Благовещенский, С.Н. Качка корабля: учеб. пособие для вузов / С.Н. Благовещенский - Л.: Судпромгиз, 1954. -520 с.
- 3 Казарезов, А.Я. Кранцевая защита: научное издание/ А.Я. Казарезов, В.Э. Магула. –С-Пб: Судостроение, 1992. -160 с.
- 4 Непейвода, В.Г. Экспериментальные зависимости для учёта оконечностей цилиндрических кранцев: Сообщения ДВВИМУ по судовым мягким оболочкам, вып. №38/ В.Г. Непей-

вода, В.Н. Попов, В.Н. Шарапов, В.Н. Туркин. -Владивосток: ДВВИМУ, 1980. -С.50-54.

5 Магула, В.Э. Свойства мягкого гидравлического кранца с цилиндрической оболочкой: Сообщения ДВВИМУ по судовым мягким оболочкам, вып. №21/ В.Э. Магула, В.Г. Непейвода -Владивосток: ДВВИМУ, 1972. -С.10-35.

6 Куперман, А.М. Кранцевые устройства морских судов: конструкции и расчёты / А.М. Куперман. –Л.: Судостроение, 1973. -128 с.

7 Правила классификации и постройки морских судов. -Л.: Транспорт, 1985. -928 с.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* пневматические кранцы, соударение судов

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* Непейвода Владимир Григорьевич, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:* 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КАТАЛИТИЧЕСКОГО НЕЙТРАЛИЗАТОРА ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ В НЕГО ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ВОЗДУХА

ФГУП «15 Центральный автомобильный ремонтный завод»  
 Министерства обороны РФ  
 ГОУ ВПО «Челябинское высшее военное автомобильное командно-инженерное училище»

В.А. Романов, В.С. Кукис

INCREASE OF THE OVERALL PERFORMANCE OF THE CATALYST CONVERTER BY INTRODUCTION IN IT OF ADDITIONAL AIR

«The central automobile repair factory No.15»  
 «Chelyabinsk higher military automobile command-engineering school»  
 V.A. Romanov, V.S. Kukis

The effect from air giving in a catalyst converter established in final system of a diesel engine of KamAz-740 is considered.

Рассмотрен эффект от подачи воздуха в каталитический нейтрализатор, установленный в выпускной системе дизеля КамАЗ-740.

Ухудшающаяся экологическая обстановка за счет значительно возросшего парка автомобилей, особенно в крупных мегаполисах, требует принятия срочных эффективных мер по снижению токсичности отработавших газов (ОГ) двигателей.

Наиболее целесообразным и достаточно эффективным способом снижения токсичных выбросов уже находящихся в эксплуатации ДВС является применение каталитических нейтрализаторов (КН) в сочетании с одновременной подачей в них воздуха для повышения качества каталитических процессов. Однако использование КН в системе выпуска ОГ приводит к заметному (в 1,2-1,4 раза [1]) повышению температуры этих газов, что вредно для атмосферы Земли, и противодействия на выходе, что приводит к ухудшению мощностных и экономических показателей работы двигателей. Таким образом, существует реальная научная проблема, состоящая в разрешении противоречия между необходимостью снижения токсичности ОГ поршневых ДВС и ростом противодействия на выпуске, а также температуры уходящих газов (УГ) при использовании КН.

В статье предлагается возможный путь частичного решения этого противоречия.

На рисунке 1 показана принципиальная схема системы, включающей КН с утилизирующей стирлинг-генераторной установкой (СГУ) и дополнительной подачей воздуха в нейтрализатор [2].

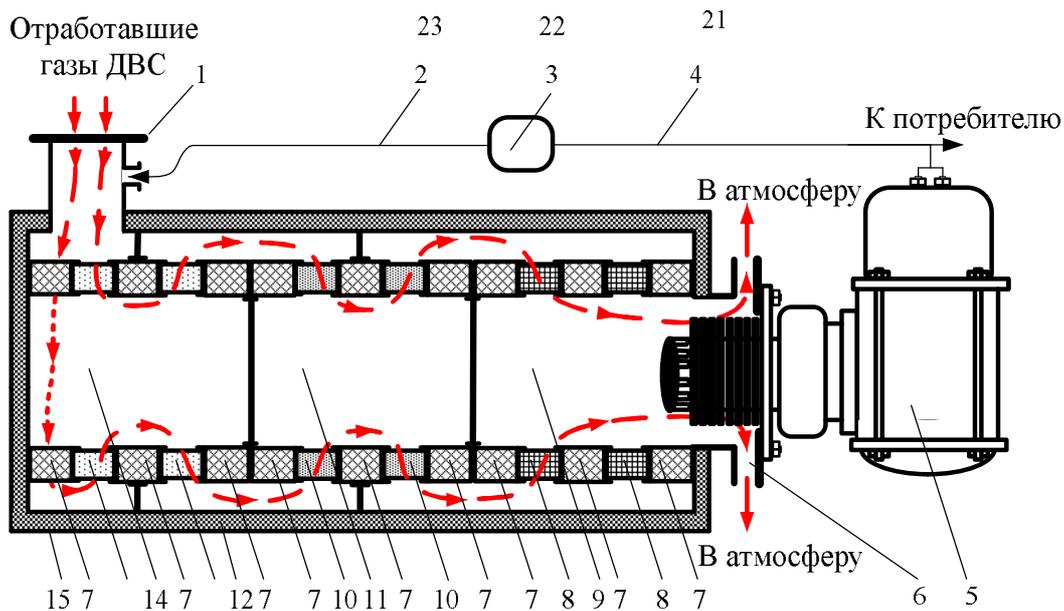


Рисунок 1 – Принципиальная схема каталитического нейтрализатора с утилизирующим стирлинг-генератором: 1-входной патрубком; 2-воздухопровод; 3-нагнетатель воздуха; 4-

электрический провод; 5-утилизационный Стирлинг-генератор; 6-выходной патрубок; 7-кольцевые элементы с теплоаккумулирующим веществом; 8-кольцевые элементы восстановительного типа; 9-восстановительная зона каталитического нейтрализатора; 10-кольцевые элементы окислительного типа; 11-окислительная зона каталитического нейтрализатора; 12-теплоизоляция; 13-сажевые пористые кольцевые элементы; 14-фильтрационная зона каталитического нейтрализатора; 15-корпус каталитического нейтрализатора

Главной спецификой этой системы является то, что часть вырабатываемой СГУ электрической энергии идет на привод нагнетателя воздуха, который падает воздух в КН для повышения эффективности протекания окислительных процессов. Кроме того, поступающий во впускной патрубок воздух обеспечивает эжекцию ОГ, чем уменьшает противодействие в выпускной системе, создаваемое КН.

Другая особенность связана с тем, что КН имеет встроенные элементы, которые содержат теплоаккумулирующее вещество, обеспечивающее демпфирование колебаний температуры ОГ, понижая ее, если в нейтрализатор попадают горячие газы, и повышая, если газы на входе имеют низкую температуру [3]. Это позволяет, с одной стороны, исключить возможный прогар корпуса нейтрализатора, а с другой – эффективно осуществлять процесс нейтрализации вредных компонентов (известно, что при температуре ОГ 150 °С на входе в КН эффективность его работы снижается более чем в три раза [1], поэтому на режимах малых нагрузок и холостого хода ОГ не имеют необходимую температуру и КН практически не работает).

Отметим, что важным фактором эффективного использования термического потенциала при утилизации является их температура. Применение КН для обезвреживания ОГ приводит к заметному повышению их температуры, а следовательно, и энергетической ценности выбрасываемых в атмосферу продуктов сгорания. Используя утилизационную систему, помещенную на выходе из КН, можно вырабатывать большее количество механической (электрической) энергии, чем при утилизации теплоты ОГ, выходящих непосредственно из цилиндра двигателя, эта энергия может быть суммирована с мощностью, вырабатываемой поршневым ДВС, либо использована для привода вспомогательных агрегатов, в том числе для подачи дополнительного атмосферного воздуха в КН. Сказанное позволяет повышать мощностные, экономические и экологические показатели силовой установки.

Цель настоящей работы заключалась в повышении эффективности работы КН путем введения в него дополнительного воздуха (на примере дизеля КамАЗ-740) за счет утилизации теплоты газов, уходящих из нейтрализатора.

В соответствии с разработанной методикой исследования были проведены испытания дизеля КамАЗ-740 на токсичность ОГ в штатной комплектации, при установке КН и с дополнительным подводом воздуха в КН.

Поскольку максимальная практическая ценность полученных результатов может иметь место только в том случае, когда режимы испы-

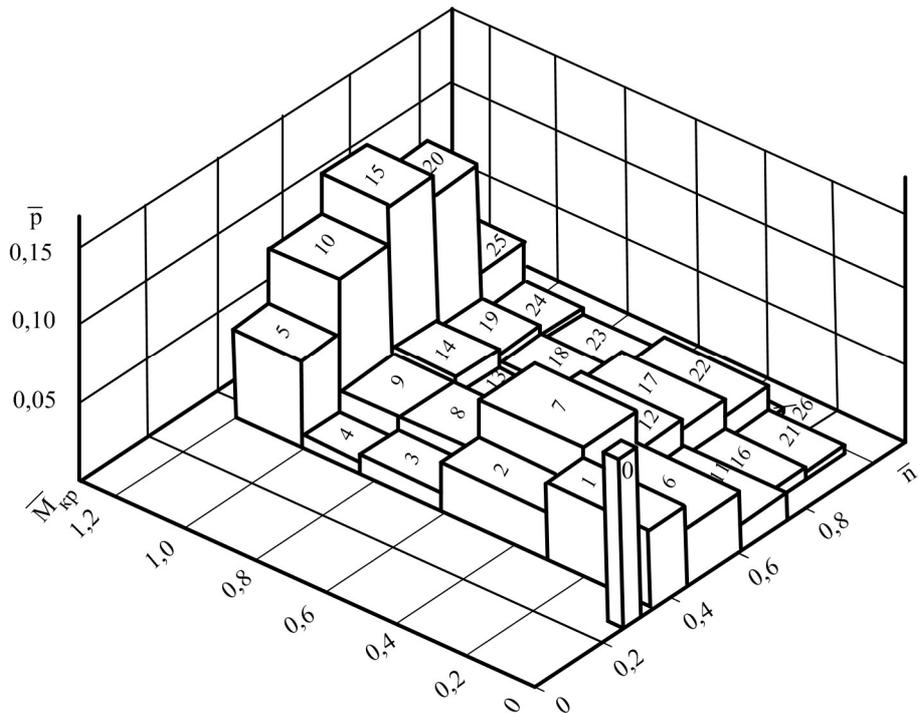


Рисунок 2 – Вероятностное распределение полигонов эксплуатационных режимов дизелей грузовых автомобилей при движении по городскому и междугороднему циклам

таний выбираются с учетом особенностей эксплуатации машины, на которой установлен дизель, при проведении экспериментов было использовано распределение полигонов эксплуатационных режимов дизелей грузовых автомобилей при движении автомобиля в городе и по шоссе [4] (рисунок 2).

Для оценки влияния использования предложенной системы на токсичные выбросы с ОГ были использованы несколько показателей.

Эксплуатационной степени превращения реагирующих веществ

$$ЭСП_i = \frac{\int_{N_{min}}^{N_{max}} \int_{n_{min}}^{n_{max}} \tau_f \cdot C_{fi} - \int_{N_{min}}^{N_{max}} \int_{n_{min}}^{n_{max}} \tau_f \cdot C_{fi}^H}{\int_{N_{min}}^{N_{max}} \int_{n_{min}}^{n_{max}} \tau_f \cdot C_{fi}} \quad (1)$$

где  $C_{fi}$  – концентрация  $i$ -го компонента ОГ на  $f$ -м режиме работы двигателя без нейтрализатора;

$C_{fi}^H$  – концентрация  $i$ -го компонента ОГ на  $f$ -м режиме работы двигателя с нейтрализатором.

Эксплуатационного показателя эффективности нейтрализации  $i$ -го компонента

$$ЭПЭН_i = \frac{\int_{N_{min}}^{N_{max}} \int_{n_{min}}^{n_{max}} \tau_f \cdot C_f}{\int_{N_{min}}^{N_{max}} \int_{n_{min}}^{n_{max}} \tau_f \cdot C_f^H} \quad (2)$$

Представленные на рисунке 3 гистограммы свидетельствуют о том, что лучшие показатели по эксплуатационной степени превращения реагирующих веществ ( $ЭСП_i$ ) при установке в выпускную систему дизеля КамАЗ-740 КН с дополнительной подачей воздуха достигаются по  $NO_x$  – 0,53, ниже всех показатель у  $CH$  – 0,26. По  $CO$  и твердым частицам  $ЭСП_i$  равны соответственно 0,41 и 0,46.

Подача дополнительного воздуха в нейтрализатор повышает  $ЭСП_i$  по  $CO$  и  $NO_x$  на 4%;  $CH$  – на 2%; по  $NO_x$  и саже – на 0,01%.

Оценка эффективности работы нейтрализатора при сравнении результатов на выходе из КН по отношению к содержанию вредных веществ в ОГ перед ним показала, что эксплуатационная степень превращения реагирующих веществ по  $CO$ ,  $NO_x$  и саже увеличилась вследствие возрастания концентрации этих веществ в ОГ из-за повышения противодавления перед нейтрализатором в пределах до 0,0174 МПа на режимах максимальных нагрузок и частот вращения коленчатого вала дизеля КамАЗ-740 (ТУ Ярославского моторного завода: «...противодавление автотракторных дизелей не должно быть выше 0,15 кг/см<sup>2</sup>...»).  $ЭСП_i$  по  $CH$  уменьшилась до 0,26 из-за снижения концентрации  $CH$  в ОГ перед КН при повышении противодавления. При дополнительной подаче воздуха в нейтрализатор изменение  $ЭСП_i$  по соответствующим токсичным веществам сохранилось. Так улучшение  $ЭСП_i$  по  $CO$  составило 0,04, по  $C_xH_y$  – 0,02, а по  $NO_x$  и саже – 0,01.

Гистограммы эксплуатационного показателя эффективности нейтрализации  $i$ -го компонента ( $ЭПЭН_i$ ), представленные на рисунке 4, показывают, что лучшие результаты при ис-

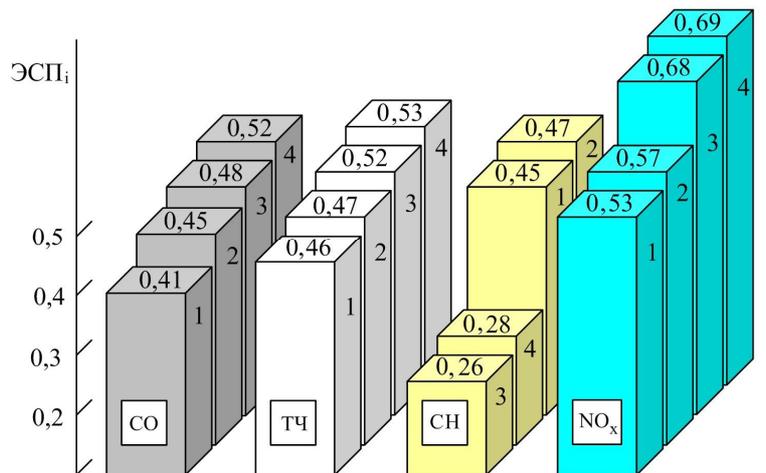


Рисунок 3 – Эксплуатационная степень превращения реагирующих веществ: 1-при установке КН; 2-при установке КН и подачи воздуха в КН; 3-при установке КН по отношению к содержанию токсичных веществ перед КН; 4-при установке КН с подачей дополнительного воздуха в КН по отношению к содержанию токсичных веществ перед КН

пользовании КН достигнуты по нейтрализации  $\text{NO}_x$  –  $\text{ЭПЭН}_i$  составил 2,14, менее существенные – по  $\text{CO}$  – 1,69,  $\text{C}_x\text{H}_y$  и твердым частицам – 1,83 и 1,84. Подача воздуха в КН улучшает показатели по  $\text{CO}$  на 0,13,  $\text{CH}$  – на 0,05, твердым частицам – на 0,04 и  $\text{NO}_x$  – на 0,03.

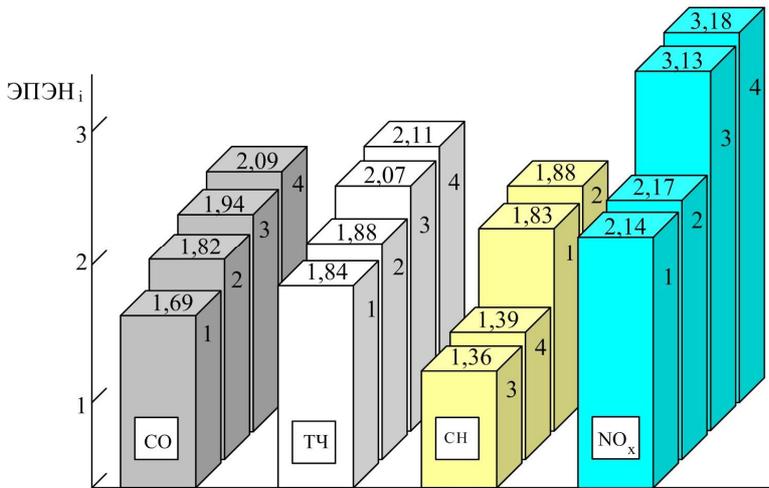


Рисунок 4 – Эксплуатационный показатель эффективности нейтрализации реагирующих веществ: 1-при установке КН; 2-при установке КН и подачей воздуха в КН; 3-при установке КН по отношению к содержанию токсичных веществ перед КН; 4-при установке КН с подачей дополнительного воздуха в КН по отношению к содержанию токсичных веществ перед КН

При сравнении результатов, полученных на выходе из КН по отношению к концентрации токсичных веществ перед ним (что оценивает эффективность работы нейтрализатора), показатели  $\text{ЭПЭН}_i$  по  $\text{NO}_x$  возросли до 3,13, по твердым частицам – до 2,07, по  $\text{CO}$  – до 1,94, по  $\text{CH}$  показатель уменьшился до 1,36 (по причинам, указанным ранее). Дополнительная подача воздуха в КН изменила показатели  $\text{ЭПЭН}_i$  в сторону улучшения по  $\text{CO}$  на 0,15, по  $\text{NO}_x$  – на 0,05, по твердым частицам – на 0,04, по  $\text{CH}$  – на 0,03, что указывает на более эффективную нейтрализацию  $\text{CO}$  при добавке воздуха в нейтрализатор и улучшение показателей

по остальным трем токсичным веществам в ОГ.

$\text{ЭСЛ}_i$  по  $\text{CH}$  уменьшилась до 0,26 из-за снижения концентрации  $\text{CH}$  в ОГ перед КН при повышении противодавления. При дополнительной подаче воздуха в нейтрализатор изменение  $\text{ЭСЛ}_i$  по соответствующим токсичным веществам сохранилось. Так улучшение  $\text{ЭСЛ}_i$  по  $\text{CO}$  составило 0,04, по  $\text{CH}$  – 0,02, а по  $\text{NO}_x$  и твердым частицам – 0,01.

Зависимости (1) и (2) позволяют оценить эффект нейтрализации отдельных токсичных компонентов, но не дают представления об эффективности нейтрализации ОГ в целом.

Для решения этой задачи, на наш взгляд, целесообразно использовать следующие показатели:

– эксплуатационную степень снижения суммарного индекса концентрации вредных выбросов в ОГ

$$\text{ЭССИК} = \frac{\int_{N_{\min}}^{N_{\max}} \int_{n_{\min}}^{n_{\max}} \tau_f \cdot K_f - \int_{N_{\min}}^{N_{\max}} \int_{n_{\min}}^{n_{\max}} \tau_f \cdot K_f^H}{\int_{N_{\min}}^{N_{\max}} \int_{n_{\min}}^{n_{\max}} \tau_f \cdot K_f}; \quad (3)$$

– эксплуатационную степень снижения удельной (приведенной к  $\text{CO}$ ) токсичности ОГ

$$\text{ЭССУТ} = \frac{\int_{N_{\min}}^{N_{\max}} \int_{n_{\min}}^{n_{\max}} \tau_f \cdot \sum q_f^{\text{CO}} - \int_{N_{\min}}^{N_{\max}} \int_{n_{\min}}^{n_{\max}} \tau_f \cdot \sum q_f^{\text{COH}}}{\int_{N_{\min}}^{N_{\max}} \int_{n_{\min}}^{n_{\max}} \tau_f \cdot \sum q_f^{\text{CO}}}; \quad (4)$$

– эксплуатационный показатель эффективности снижения суммарного индекса концентрации вредных веществ в ОГ

$$\text{ЭПЭССИК} = \frac{\int_{N_{\min}}^{N_{\max}} \int_{n_{\min}}^{n_{\max}} \tau_f \cdot K_f}{\int_{N_{\min}}^{N_{\max}} \int_{n_{\min}}^{n_{\max}} \tau_f \cdot K_f^H}; \quad (5)$$

– эксплуатационный показатель эффективности снижения удельной (приведенной к  $\text{CO}$ )

токсичности ОГ

$$ЭПЭСУТ = \frac{\int_{N_{\min}}^{N_{\max}} \int_{n_{\min}}^{n_{\max}} \tau_f \cdot \sum q_f^{CO}}{\int_{N_{\min}}^{N_{\max}} \int_{n_{\min}}^{n_{\max}} \tau_f \cdot \sum q_f^{COH}} \quad (6)$$

где  $K_f, K_f^H$  – индексы концентрации токсичных компонентов в ОГ дизеля и в уходящих из КН газов;

$\sum q_f^{CO}, \sum q_f^{COH}$  – суммарные токсичности ОГ дизеля и в уходящих из КН газов, приведенные к концентрации окиси углерода.

Необходимо обратить внимание на то, что предложенные выше показатели оценивают эффективность установки на двигатель каталитического нейтрализатора, однако не дают представления об эффективности самого нейтрализатора. Напомним, что нейтрализатор не только очищает от вредных веществ, но и создает определенное противодействие выпуску продуктов сгорания из цилиндров, что в свою очередь, ухудшает протекание рабочего процесса и, как одно из следствий, приводит к некоторому повышению токсичности. В результате на нейтрализатор приходится дополнительная нагрузка.

Поэтому, наряду с показателями (3)-(6), характеризующими эффективность нейтрализации ОГ, в число выходных показателей целесообразно ввести аналогичные характеристики, но оценивающие эффективность работы самого нейтрализатора.

В этом случае, в формулах (3)-(6) вместо параметров токсичности ОГ двигателя без нейтрализатора должны стоять соответствующие показатели ОГ перед КН. Соответствующие результаты обработки экспериментальных данных приведены на рисунок 5.

Представленные результаты свидетельствуют о целесообразности использования КН с утилизационной стирлинг-генераторной установкой (СГУ) и дополнительной подачей воздуха в нейтрализатор.

Следует иметь в виду, что утилизация теплоты УГ позволяет не только улучшить эффективность нейтрализации токсичных веществ (СО, СН, NO<sub>x</sub> и твердых частиц) в ОГ дизеля, но и обеспечивает увеличение средней эксплуатационной мощности силовой установки. Расчеты показывают, что при использовании более мощной СГУ энергия ОГ позволила бы повысить эксплуатационную мощность силовой установки на 9,9%; установка КН – еще на 2,3%, а подача дополнительного воздуха в нейтрализатор – дополнительно на 1,5%. Общее повышение эффективной мощности может достигать, таким образом, 13,7%. При этом в итоге у дизеля КамАЗ-740 на 6,5 г/(кВт·ч) снижается удельный эффективный расход топлива, а часовая его экономия достигает 3,0 кг.

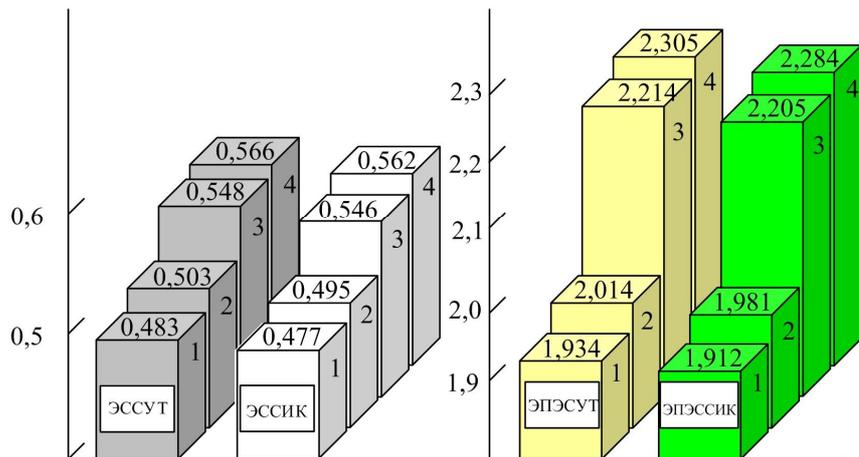


Рисунок 5 – Эксплуатационная степень снижения суммарного индекса концентрации токсичных выбросов в ОГ (ЭССИК); эксплуатационная степень снижения удельной (приведенной к СО) токсичности ОГ (ЭССУТ); эксплуатационный показатель эффективности снижения суммарного индекса концентрации токсичных веществ в ОГ (ЭПЭСИК); эксплуатационный показатель эффективности снижения удельной (приведенной к СО) токсичности ОГ (ЭПЭСУТ): 1-при установке КН; 2-при установке КН и подачей воздуха в КН; 3-при установке КН по отношению к содержанию токсичных веществ перед КН; 4-при установке КН с подачей дополнительного воздуха в КН по отношению к содержанию токсичных веществ перед КН

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Мельберт, А.А. Конструкции нейтрализаторов отработавших газов дизелей / А.А. Мельберт // Совершенствование быстроходных дизелей: межвуз. сб. науч. тр. / Алт. ГТУ. -Барнаул, 1991. -С. 129-142.

2 Романов, В.А. Первичный двигатель стирлинг-электрического генератора для утилизации теплоты отработавших газов поршневых ДВС / В.А. Романов, В.С. Кукис // Материалы II съезда инженеров Сибири (20-21 марта 2008) / ОМГТУ. -Омск, 2008. -Ч.2. -С. 137-143.

3 Кукис, В.С. Каталитический нейтрализатор с повышенной надежностью и эффективностью снижения вредных выбросов / В.С. Кукис, В.А. Романов // Науч. вестн. ЧВВАКИУ. - Челябинск, 2006. -Вып. 18. -С. 102-104.

4 Парсаданов, И.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия / И.В. Парсаданов. -Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. -244 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** токсичность, каталитический нейтрализатор, температура, отработавшие газы, дизель, стирлинг-электрическая установка

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Романов Виктор Анатольевич, директор ФГУП «15 ЦАРЗ» МО РФ  
Кукис Владимир Самойлович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630056, г. Новосибирск, ул. Варшавская, 1, ФГУП «ЦАРЗ» МО РФ  
454029, г. Челябинск-29, пр. Победы, 187, ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КАТАЛИТИЧЕСКОГО НЕЙТРАЛИЗАТОРА В ПЕРИОД ПРОГРЕВА ДВИГАТЕЛЯ**

**ФГУП «15 Центральный автомобильный ремонтный завод»  
Министерства обороны РФ**

**Р.Р. Шарипов**

**INCREASE OF THE OVERALL PERFORMANCE OF THE CATALYST CONVERTER IN ENGINE HEATING**  
«The central automobile repair factory No.15»  
R.R. Sharipov

Lacks of catalytic neutralization of the fulfilled gases of an initial stage of work of the engine, for speedup of heating of a catalyst converter of the engine and drop of toxicity of the fulfilled gases of a diesel engine are considered.

Рассмотрены недостатки каталитической нейтрализации отработавших газов в начальный период работы двигателя, для ускорения прогрева каталитического нейтрализатора двигателя и снижения токсичности отработавших газов дизеля.

Широкое распространение и непрерывное развитие военной автомобильной техники (ВАТ) требует дальнейшего совершенствования силовых установок с целью повышения их технико-экономических и экологических показателей. А также обеспечения ими требований, предъявляемых к образцам ВАТ в целом.

Министр обороны РФ в своих руководящих документах требует повышения технической оснащенности войск. Наиболее массовым представителем ВАТ являются автомобили многоцелевого назначения. Они используются как при непосредственном ведении боевых действий, так и при их обеспечении.

Пути дальнейшего развития и повышения эффективности использования автомобильного транспорта неразрывно связаны с решением проблемы загрязнения окружающей среды [1].

Снижение вредных выбросов двигателей внутреннего сгорания в настоящее время приобрело большое государственное значение [2]. Совершенствование систем очистки отработавших газов от вредных веществ является одним из ключевых факторов повышения экологических показателей двигателей. Одним из наиболее приемлемых методов решения, получившим широкое распространение на объектах автомобильной техники, является снижение вредных выбросов в отработавших газах (ОГ) двигателей внутреннего сгорания, за счет применения каталитических нейтрализаторов (КН). Метод каталитической нейтрализации достаточно эффективен, но имеет существенные недостатки.

Самым серьезным недостатком, является высокая температура начала процесса нейтрализации [3]. Для каталитических нейтрализаторов она лежит в диапазоне 250-3500 °С, что практически невыполнимо для большинства автомобилей на режимах холостого хода и

малых нагрузок (при классическом расположении каталитического нейтрализатора в системе выпуска отработавших газов поршневого двигателя). Поэтому все большее значение приобретает использование различных методов ускоренного прогрева нейтрализатора и двигателя. Сюда следует отнести такие мероприятия, как повышение температуры ОГ на выходе из двигателя, уменьшение потерь тепла в выпускной системе, подвод дополнительной энергии для разогрева нейтрализатора.

Для устранения вышеуказанных недостатков ведется разработка способа повышения эффективности работы каталитического нейтрализатора, за счет установки рециркуляционного ресивера в группу приборов системы выпуска ОГ (рисунок).

Данное направление, использующее рециркуляцию ОГ в период прогрева двигателя весьма перспективно, так как в данном случае выбрасывается 60-80% CO и CH при испытаниях автомобиля по ездовому циклу ЕЭК №49.

Такая система была создана и испытана в рамках европейского 13-и ступенчатого цикла ЕЭК ООН. Объектом исследования являлся двигатель КамАЗ-740.10. Контроль эффективности очистки ОГ осуществлялся по оксиду углерода (CO), и углеводородам (CH).

Результаты выполненных расчетных исследований рабочего процесса дизеля показывают, что рециркуляция ОГ оказывает существенное влияние на протекание внутрицилиндровых процессов.

Воздействие рециркуляции на процесс наполнения осуществляется, главным образом, вследствие увеличения температуры газа во впускном коллекторе из-за перемешивания воздуха с более горячими рециркулируемыми газами. В результате повышения температуры газа во впускном коллекторе происходит повышение температуры рабочего тела и в конце процесса наполнения, однако это не оказывает существенного значения на другие параметры процесса наполнения.

Увеличение теплоемкости заряда в цилиндре при рециркуляции оказывает значительное воздействие на процесс сжатия. Вследствие уменьшения показателя адиабаты рабочего тела происходит уменьшение давления конца условного сжатия, хотя в начале процесса, давление было одинаковым.

Так как температура начала сжатия в двигателе с рециркуляцией ОГ значительно выше, чем в двигателе без рециркуляции, то и температура конца сжатия будет больше.

Наибольшее воздействие рециркуляция ОГ оказывает на процесс сгорания. Прежде всего, следует отметить снижение коэффициента избытка воздуха при увеличении количества рециркулируемых газов и их температуры. Снижение объясняется не только тем, что уменьшается воздушный заряд цилиндра, снижается также расход воздуха вследствие частичного замещения его рециркулируемыми газами. Кроме того, коэффициент избытка воздуха снижается из-за увеличения расхода топлива, вызванного снижением эффективного КПД двигателя.

В ходе расчетных исследований принимался постоянный, не зависящий от параметров рециркуляции закон выгорания топлива. При этих условиях не просматривается существенное влияние рециркуляции на величину максимального давления в цилиндре; величина максимальной температуры рабочего тела в цикле возрастает с увеличением доли рециркулируемых газов.

С увеличением температуры рабочего тела соответственно увеличивается температура ОГ на входе в КН, что необходимо для начала его эффективной работы.

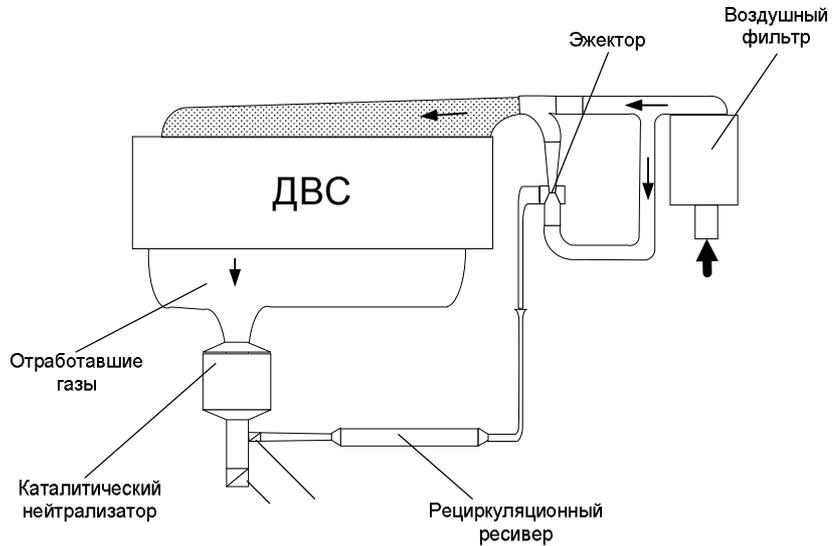


Рисунок – Схема системы снижения токсичности дизеля

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Луканин, В.Н. Промышленно-транспортная экология: учеб. для вузов / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименков. -М.: Высш. шк., 2001. -273 с.

2 Богданов, А.И. Утилизация теплоты отработавших газов поршневых ДВС автомобильной техники как средство повышения их мощностных, экономических и экологических показателей: дис. ... канд. техн. наук / А.И. Богданов. -Челябинск, 1999. -118 с.

3 Кукис, В.С. Влияние установки каталитического нейтрализатора в выпускную систему дизеля на энергетические показатели его отработавших газов / В.С. Кукис, А.И. Богданов // Тр. Таврич. гос. агротехн. акад. -Мелитополь, 1998. -Т.7, -Вып.3. -С. 17-20.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: каталитический нейтрализатор, температура, отработавшие газы, рециркуляция

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Шарипов Руслан Раисович, главный технолог ФГУП «15 ЦАРЗ» МО РФ

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630056, г. Новосибирск, ул. Варшавская, 1, ФГУП «ЦАРЗ» МО РФ

## ТОПЛИВНАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

ФГУП «15 Центральный автомобильный ремонтный завод»  
Министерства обороны РФ

А.А. Малозёмов, О.А. Алешков

FUEL ECONOMY OF MULTIPURPOSE ENERGY COMPLEX WITH VARIABLE SPEED OF PRIMARY DIESEL ENGINE

«The central automobile repair factory No.15»

A.A. Malozyomov, O.A. Aleshkov

Results experimental researches on optimization, from the point of view of fuel economy, a speed mode of the engine-generator in multipurpose energy complex.

Приведены результаты экспериментальных исследований по оптимизации, с точки зрения топливной экономичности, скоростного режима двигатель-генератор в составе многофункционального энерготехнологического комплекса.

Топливная экономичность энергетических установок с приводом от поршневых двигателей внутреннего сгорания является важным показателем их технического уровня и фактором конкурентоспособности. Одним из способов снижения эксплуатационного расхода топлива является работа первичного двигателя с оптимальной, с точки зрения экономичности, частотой вращения при данном режиме нагружения. Реализация этого технического решения наиболее целесообразна для дизелей, функционирующих в составе многофункциональных энерготехнологических комплексов (МЭК), включающих преобразователь частоты, стабилизирующий частоту тока до требуемых государственными стандартами значений.

Исследования выполнялись в три этапа. На первом этапе были проведены стендовые испытания дизелей 4ЧН13/14 и 6Ч13/14 производства ОАО «ПО Алтайский моторный завод». На втором этапе в условиях стенда была испытана энергоустановка номинальной мощностью 200 кВт на базе дизеля 8ЧН13/14 производства ОАО «Автодизель» укомплектованная всережимным генератором и преобразователем частоты модели «Liebert NXA». В ходе третьего этапа проведены полевые испытания МЭК с двигатель-генератором на базе дизеля 8ЧН13/14 в составе ВЭС «Заполярная» (г. Воркута) (рисунок 1).

Обработка экспериментальных данных позволила получить эмпирические зависимости удельного эффективного расхода топлива от нагрузки



Рисунок 1 – Полевые испытания многофункционального энерготехнологического комплекса на базе ветроэлектростанции «Заполярная» и всережимного двигатель-генератора

и частоты вращения. Для дизеля 6Ч13/14 уравнение имеет вид:

$$g_e = 347,2 - 1,36 \cdot N_e - 0,088 \cdot n + 0,0308 \cdot N_e^2 - 0,0024 \cdot N_e \cdot n + 8,77 \cdot 10^{-5} \cdot n^2; \quad (1)$$

– для 4ЧН13/14

$$g_e = 293,2 - 0,49 \cdot N_e - 0,097 \cdot n + 0,0138 \cdot N_e^2 - 0,0015 \cdot N_e \cdot n + 8,26 \cdot 10^{-5} \cdot n^2. \quad (2)$$

Приравняв производную по частоте вращения к нулю и решив выражения (1) и (2) по  $n$ , получим:

– для дизеля 6Ч13/14

$$n = 13,7 \cdot N_e + 469, \quad (3)$$

– для дизеля 4ЧН13/14

$$n = 9,1 \cdot N_e + 589, \quad (4)$$

Эти зависимости определяют оптимальную, с точки зрения топливной экономичности, зависимость частоты вращения первичного дизеля от нагрузки. Расчеты показали, что экономия топлива при работе отдельно взятого двигателя по оптимальной характеристике может достичь 12-19% при нагрузке менее 25% от номинальной (рисунок 2).

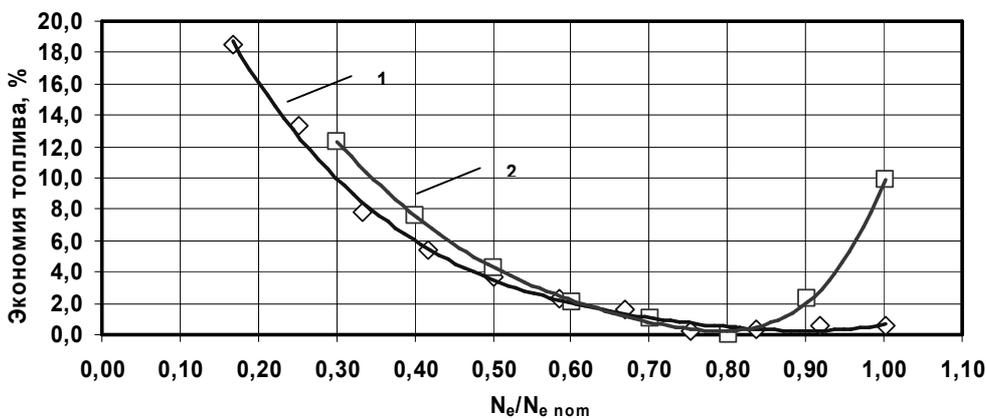


Рисунок 2 – Потенциальная экономия топлива при работе двигателей 4ЧН13/14 и 6Ч13/14 по оптимальной, с точки зрения минимизации удельного эффективного расхода топлива, нагрузочной характеристике: 1-4ЧН13/14, 2-6Ч13/14

Потенциальная экономия топлива при работе энергоустановки со всережимным генератором и преобразователя частоты на базе дизеля 8ЧН13/14 по оптимальной, с точки зрения минимизации удельного эффективного расхода топлива, нагрузочной характеристике показана на рисунке 3.

Для оценки экономической эффективности предлагаемых технических решений была предложена методика, основанная на режимах нагружения имеющих место в реальных условиях эксплуатации. Расчет для МЭК на базе дизеля 8ЧН13/14 показал, что годовые затраты на приобретение топлива могут быть снижены на 374 тыс. руб. (в ценах 2008 г.). При стоимости преобразователя частоты мощностью 200 кВт – 1430 тыс. руб. он окупится за 3,8 года, что ниже нормативного срока окупаемости капиталовложений – 7 лет и нормативного срока эксплуатации преобразователя частоты – 10 лет. Можно ожидать, что действительный ресурс преобразователя частоты составит не менее 30 лет, так как он будет задействован только 7 ч в сутки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дизельный двигатель, двигатель-генератор, скоростной режим, многофункциональный энерготехнологический комплекс

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Малозёмов Андрей Адиевич, канд. техн. наук, ведущий инженер ФГУП «15 ЦАРЗ» МО РФ  
Алешков Олег Алексеевич, заместитель директора по качеству ФГУП «15 ЦАРЗ» МО РФ

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630056, г. Новосибирск, ул. Варшавская, 1, ФГУП «ЦАРЗ» МО РФ

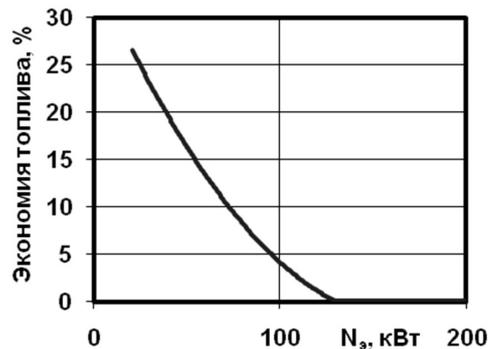


Рисунок 3 – Потенциальная экономия топлива при работе энергоустановки со всережимным генератором и преобразователя частоты на базе дизеля 8ЧН13/14 по оптимальной, с точки зрения минимизации удельного эффективного расхода топлива, нагрузочной характеристике

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КАТАЛИЗАТОРА ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.Е. Леонов, Н.А. Миронова, А.Г. Николаев

### STUDY OF CATALYTIC ACTIVITY OF CATALYST EXHAUST GAS PURIFICATION

«International institute of business and law»

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.E. Leonov, N.A. Mironova, A.G. Nikolaev

In laboratory conditions studies of reducing the concentration of CO using oxide catalyst ИКТ-12-8 experimentally installed high-efficiency of catalyst ИКТ-12-8 in the process of cleaning exhaust gas ship engines.

В лабораторных условиях проведены исследования снижения концентрации СО при использовании оксидного катализатора ИКТ-12-8, экспериментально установлена высокая эффективность катализатора ИКТ-12-8 в процессах очистки отработавших газов судовых двигателей.

Известно [1], что из камер сгорания судовых двигателей в процессах окисления дизельного топлива выделяются пять принципиально различных типов загрязняющих веществ: оксиды азота, углерода, углеводороды, оксиды серы и твердые частицы. Вместе с тем, отработавшие газы судовых двигателей содержат в своем составе более двухсот вредных токсичных компонентов, относящихся по характеру действия к канцерогенному, мутагенному, раздражающему, общеядовитому фактору, а по классам опасного воздействия на человека – с первого по четвертый.

Целью настоящего исследования является снижение выбросов оксида углерода и углеводородов в отработавших газах (ОГ) судовых двигателей. Практически снизить этот тип загрязняющих веществ возможно путем увеличения расхода воздуха, однако это приводит к увеличению концентрации оксида азота  $\text{NO}_x$  в отработавших газах [2]. Усовершенствование геометрии камеры сгорания двигателя, использование более совершенных способов подачи топлива незначительно влияют на снижение концентрации оксида углерода в ОГ.

При окислении предварительно перемешанных углеводородов концентрация оксида углерода (СО) в зоне пламени в начале быстро возрастает до максимальной величины (выше равновесного значения при адиабатическом окислении). Затем концентрация СО снижается до равновесного значения. Уровни СО, наблюдаемые в отработавших газах судовых двигателей ниже максимальных значений, замеренных внутри камеры сгорания, но всё же выше равновесных значений для условия выхлопа [3]. В связи с этим необходимо разрабатывать механизмы, устройства, катализаторы, снижающие концентрацию СО в отработавших газах.

В лабораторных условиях проведены исследования снижения концентрации СО при использовании оксидного катализатора ИКТ-12-8, с следующими характеристиками:

– Химический состав:

$\text{CuO}$  ..... 10%;

$\text{Cr}_2\text{O}_3$  ..... 10%;

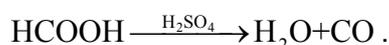
$\text{Al}_2\text{O}_3$  ..... 80%;

– Удельная поверхность..... 170  $\text{м}^2/\text{г}$ ;

– Размер фракции.....гранулы 1×1 мм.

Исследование активности катализатора проводилось в реакторе идеального вытеснения с неподвижным слоем катализатора. Температура в реакторе фиксировалась термопарой, а концентрация оксида углерода на входе и выходе из катализатора – газоанализатором УГ-2.

Оксид углерода получали в лабораторных условиях в результате разложения муравьиной кислоты в присутствии катализатора (серной кислоты) при температуре 75-100 °С, в соответствии с формулой



Концентрация оксида углерода в воздухе на входе в реактор была равна 123  $\text{мг}/\text{м}^3$ . Масса загруженного в реактор катализатора ИКТ-12-8 – 90 мг. Степень превращения оксида углерода изменялась от 17 до 78%.

В результате исследования установлено:

- концентрация СО на выходе из реактора находится в обратной зависимости от температуры;
  - при расходе газовой смеси 9 см<sup>3</sup>/с и изменении температуры катализатора от 150 до 260 °С, концентрация СО снижалась в 1,38-4,50 раза;
  - при расходе газовой смеси 11 см<sup>3</sup>/с и изменении температуры катализатора от 150 до 260 °С, концентрация СО снижалась в 1,67-5,53 раза;
- Аналогичные исследования проведены на катализаторе АОК-78-56 [4].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Образование и разложение загрязняющих веществ в пламени: пер. с англ. / Под ред. Н.А. Чигир. -М.: Машиностроение, 1981. -407 с.
- 2 Рослякова, О.В. Влияние способа смесеобразования на экологические показатели дизеля / Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт. –Ч.1/ Под ред. В.П. Горелова, Н.Н. Лизалека, В.В. Охотниковой. -Тобольск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2004. -С. 23-24.
- 3 Bowman, C.T. Influence of aerodynamic phenomena on pollutant formation in combustion / C.T. Bowman, L.S. Cohen . EPA Report 650/2-75-061a (July 1975).
- 4 Усова, Н.В. Технология очистки отработанных газов судовых энергетических установок / Н.В. Усова, В.Е. Леонов, А.Г. Николаев // Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт. –Ч.2 / Под ред. В.П. Горелова, Н.Н. Лизалека, В.В. Охотниковой. -Тобольск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2004. -С. 316-320.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *снижение выбросов загрязняющих веществ, использование оксидного катализатора*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Леонов Валерий Евгеньевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Миронова Надежда Александровна, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Николаев Анатолий Геннадьевич, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

### **ЛИНЕАРИЗОВАННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОТЛОАГРЕГАТА ПО ТРАКТУ РАЗРЕЖЕНИЯ**

**ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»**

**Г.М. Симаков, М.А. Марченко**

**LINEARIZED MATHEMATICAL MODEL BOILER UNIT ON A PATH OF UNDERPRESSURE**  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
«Novosibirsk state technical university»  
G.M. Simakov, M.A. Marchenko

In work is offered a technique of use of the approached dependences for development of mathematical model boiler unit on a path of underpressure. With use of the equations of a thermodynamic condition of environment balance of weights and pressure the differential equation of system of regulation of underpressure in boiler furnace is deduced.

Предложена методика использования приближенных зависимостей для разработки математической модели котлоагрегата по тракту разрежения. С использованием уравнений термодинамического состояния среды, баланса масс и давлений выведено дифференциальное уравнение системы регулирования разрежения в топке котла.

В связи с регулированием тепловой нагрузки котельных агрегатов возникает необходимость регулирования давления и расхода газов. Типичным примером регулирования давления газа является автоматическое поддержание требуемого давления в топочной камере (разрежения). Законы гидродинамики, определяющие динамические свойства регулируемого участка, для капельных жидкостей, газов и пара во многом подобны. Однако при применении этих законов к процессам в котельных агрегатах условия обычно бывают такими, что для систем, обтекаемых жидкостями, могут быть приняты некоторые упрощающие предположения, недопустимые для систем с газом и наоборот. В системах обтекаемых паром или газом, сжимаемость следует обязательно принимать во внимание, особенно, в связи с ее влиянием на изменение аккумулированной системой среды, а инерционность массы имеет значение только в некоторых особых случаях.

Регулирование давления происходит подачей рабочего тела от источника с высоким давлением к потребителю с более низким давлением. Подача рабочего тела производится устройством, создающим дополнительный напор – вентилятором. В этом случае регулирование возможно двумя способами:

- изменением сечения газохода (шибер, направляющие аппараты);
- изменением скорости вращения вентилятора (регулируемый электропривод, гидромуфта).

Как известно регулирование первым способом имеет энергетическую и технологическую неэффективность. Использование гидромуфт позволяет плавно менять число оборотов, но КПД гидромуфты пропорционально числу оборотов. Наиболее целесообразным способом регулирования является регулируемый электропривод, при использовании этого способа поддержания заданного давления (разрежения) происходит значительная экономия электроэнергии, уменьшаются затраты на обслуживание и ремонт при практически неизменном КПД вентилятора.

При выводе аналитического выражения передаточной функции регулируемого участка необходимо написать уравнения отдельных элементов и исключить из полученной таким путем системы уравнений промежуточные параметры.

Как уже говорилось выше при анализе процессов в паросиловой установке почти всегда можно с достаточной степенью точности пользоваться приближенными зависимостями. При приближенном рассмотрении предполагается, что существенные изменения давления обусловлены трением в трубопроводах. Помимо этого учитывается, что изменение давления связано с заметным изменением плотности, что приводит к изменению объема всей среды или доли ее. Эта зависимость описывается уравнением термодинамического состояния среды и ее необходимо учитывать при расчетах. Вывод выражений передаточных функций основан на балансе масс и давлений и на уравнении термодинамического баланса.

В общем случае при выводе уравнений необходимо учитывать связанное с этим процессом изменение количества вещества в системе т.е. эффект аккумуляции. В газовом тракте котла потери давления и эффект аккумуляции распределены по всей длине тракта. Точное математическое описание происходящих процессов приводит к следующим дифференциальным уравнениям в частных производных [1]. Баланс вещества

$$\frac{d\rho}{dt} + w \frac{d\rho}{dx} + \rho \frac{dw}{dx} = 0. \quad (1)$$

Изменение состояния:

- адиабатический процесс

$$\frac{dp}{d\rho} = a^2; \quad (2)$$

- изотермический процесс

$$\frac{dp}{d\rho} = \frac{a^2}{\chi}. \quad (2a)$$

Уравнение баланса механической энергии

$$-\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} = w \frac{dw}{dx} + \frac{dw}{dt} + dE_R, \quad (3)$$

где  $x$  – расстояние вдоль газохода;

$w$  – скорость в заданной точке;

$\rho$  – плотность;

$a$  – скорость звука;

$E_R$  – работа трения.

Это уравнение невозможно проинтегрировать в общем виде даже для простейших граничных условий. Аналитическое решение уравнения возможно только при определенных упрощениях и допущениях. Одним из вариантов является следующее допущение. Газоход разбивают на элементарные участки, каждый из которых заменяют двумя элементами. Одним имеющим перепад давлений, равный перепаду на заменяемом участке и не обладающий способностью аккумуляции и другим имеющим аккумуляционную способность заменяемого участка с перепадом давлений равным нулю. Первое приближение получают, заменяя систему одним аккумуляционным и одним дроссельным элементом. Количество вещества в аккумуляционной емкости должно равняться количеству вещества в газовом тракте котлоаг-

регата, а перепад давлений на дросселе должен соответствовать потерям давления на трение и стационарное ускорение в тракте. Лучшее приближение к действительности можно получить, заменяя систему несколькими емкостями и дросселями, однако по мере увеличения количества элементов эти уравнения быстро усложняются.[1]

Разность между расходами на притоке и стоке аккумулируется в системе. Количество вещества накопленного или отданного из системы в единицу времени, равно изменению наполнения системы в единицу времени

$$G_{ex} - G_{вых} = \frac{dm_s}{dt}, \quad (4)$$

где  $G_{ex}$  – весовой расход дымовых газов на входе в тракт;

$G_{вых}$  – весовой расход дымовых газов на выходе из тракта.

Так как в установившемся режиме  $G_{ex} = G_{вых}$ , то (4) можно написать в следующем виде

$$\Delta G_{ex} - \Delta G_{вых} = \frac{dm_s}{dt}. \quad (5)$$

Изменение термодинамического состояния связано в первую очередь с изменениями давления. Процесс изменения состояния зависит от того, насколько интенсивно происходит теплообмен между рабочим телом и окружающей средой. В первом приближении можно считать, что при хорошем теплообмене процессы протекают изотермически, а при плохом – адиабатически. Первый случай встречается при медленном изменении состояния, а второй при быстром. Часто происходящие явления нельзя отнести ни к первому, ни ко второму случаю.[1] Изотермический процесс описывается уравнением

$$pv = k, \quad (6)$$

где  $p$  – давление в системе;

$v$  – удельный объем вещества;

$k$  – константа;

Соответственно плотность будет равна

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{p}{k}. \quad (7)$$

Тогда количество вещества в системе определяется выражением

$$m_s = V_s \rho = \frac{V_s p}{k}, \quad (8)$$

где  $V_s$  – объем среды.

Уравнение (8) устанавливает связь между давлением и количеством вещества. Продифференцировав уравнение (8) мы определим изменение наполнения, вызванное изменением давления

$$\frac{dm_s}{dt} = \frac{dm_s}{dp} \frac{dp}{dt} = \frac{V_s}{k} \frac{dp}{dt} = \frac{m_s}{p} \frac{dp}{dt}. \quad (9)$$

При незначительных отклонениях давления отношение  $m_s/p$  можно считать практически постоянным, поэтому мы можем записать[1]

$$\frac{m_s}{p} = \frac{m_s G}{G p} = T_{is} \frac{G}{p}, \quad (10)$$

где  $T_{is}$  – постоянная времени изотермического процесса;

$G$  – произвольная базовая величина.

В качестве такой величины удобно принимать весовой расход в установившемся состоянии. Подставив (10) в (9) получаем дифференциальное уравнение связывающее аккумуляцию в системе с изменением во времени давления [1]

$$\frac{dm_s}{dt} = \frac{G}{p} T_{is} \frac{dp}{dt}. \quad (11)$$

Адиабатический процесс описывается уравнением

$$pv^\chi = k, \quad (12)$$

где  $\chi$  – показатель адиабаты, для рассматриваемого газа равный  $\chi \approx 1,4$ .

Проведем процедуру аналогичную для изотермического процесса. Определим плотность

$$\rho = \frac{1}{v} = \left(\frac{p}{k}\right)^{1/\chi} \quad (13)$$

Масса вещества

$$m_s = V_s \rho = V_s \left(\frac{p}{k}\right)^{1/\chi} \quad (14)$$

Продифференцировав (14) получаем

$$\frac{dm_s}{dt} = \frac{dm_s}{dp} \frac{dp}{dt} = \frac{V_s}{k^{1/\chi}} \frac{p^{1-\chi}}{\chi} \frac{dp}{dt} = \frac{V_s}{\chi} \left(\frac{p}{k}\right)^{1/\chi} \frac{1}{p} \frac{dp}{dt} = \frac{m_s}{\chi p} \frac{dp}{dt} \quad (15)$$

При малых отклонениях  $m_s$  и  $p$  можно подставить их значения в установившемся состоянии. С учетом того, что

$$\frac{m_s}{\chi p} = \frac{m_s}{\chi G} \frac{G}{p} = T_{ad} \frac{G}{p} \quad (16)$$

Записываем дифференциальное уравнение системы при адиабатическом процессе

$$\frac{dm_s}{dt} = \frac{G}{p} T_{ad} \frac{dp}{dt}, \quad (17)$$

где  $T_{ad}$  – постоянная времени адиабатического процесса.

Сравним (11) и (17)

$$T_{ad} = \frac{T_{is}}{\chi} \quad (18)$$

Это сравнение показало, что постоянные времени обоих процессов отличаются на величину  $\chi$ . Как уже говорилось выше на практике процесс изменения состояния представляет собой среднее между изотермическим и адиабатическим процессами, поэтому

$$T = \frac{T_{is} + T_{ad}}{2} = \frac{1 + \chi}{2\chi} \frac{m_s}{G} = \alpha \frac{m_s}{G} \quad (19)$$

В итоге, окончательно получаем дифференциальное уравнение изменения состояния в системе с изменением во времени давления

$$\frac{dm_s}{dt} = \frac{G}{p} T \frac{dp}{dt} \quad (20)$$

При принятых выше допущениях влияние конвекции и ускорения в переходных режимах не учитывается, поэтому баланс механической энергии может быть сведен к балансу давлений

$$p_{ex} - p_{вых} + H = \Delta p_L, \quad (21)$$

где  $p_{ex}$  – давление дымовых газов на входе в тракт;

$p_{вых}$  – давление дымовых газов на выходе тракта;

$H$  – напор развиваемый дымососом;

$\Delta p_L$  – потери давления вследствие трения и стационарного ускорения.

Давление  $p_{ex}$  и  $p_{вых}$  на входе и выходе системы могут быть зависимы или независимы от состояния вещества в системе. Зависимость существует в тех случаях, когда расход на притоке или на стоке не зависит от состояния системы.

Тягодутьевые машины, к которым относятся и дымососы всегда работают на сеть без противодействия. Вследствие этого зависимость момента статического сопротивления на валу приводного электродвигателя от скорости носит вентиляторный (близкий к квадратичному) характер. При вентиляторном моменте статической нагрузки значения расхода, напора, момента и мощности на валу могут быть выражены в функции угловой скорости следующими выражениями, которые еще называют законами подобия либо пропорциональности [2]:

$$\frac{Q}{Q_{НОМ}} = \frac{G}{G_{НОМ}} = \frac{\omega}{\omega_{НОМ}}; \quad \frac{H}{H_{НОМ}} = \left(\frac{\omega}{\omega_{НОМ}}\right)^2; \quad \frac{M}{M_{НОМ}} = \left(\frac{\omega}{\omega_{НОМ}}\right)^2 \quad (22)$$

На основании (22) напор развиваемый вентилятором

$$H = k_H \omega^2, \quad (23)$$

где  $k_H$  – коэффициент напора.

Потери давления вследствие трения и стационарного ускорения могут быть приближенно определены по формуле

$$\Delta p_L = k_L G^m. \quad (24)$$

Как и ранее  $m = 2$  при этом не учитывается изменение термодинамического состояния. Перепишем уравнение баланса давлений (21) для отклонений от установившегося состояния с учетом того, что регулирование происходит изменением скорости вентилятора

$$p_{ex} - p_{вых} + \Delta\Delta H = \Delta\Delta p_L. \quad (25)$$

Зависимость изменения напора насоса  $\Delta\Delta H$  от скорости получаем дифференцированием уравнения (23)

$$\Delta\Delta H = \Delta p_{p_{ex}} - \Delta p_{p_{вых}} = 2k_H \omega \Delta\omega. \quad (26)$$

Отклонение перепада давлений в зависимости от изменения расхода найдем дифференцированием уравнения (24)

$$\Delta\Delta p_L = \Delta p_{L_{ex}} - \Delta p_{L_{вых}} = 2k_L G \Delta G = a_L \Delta G, \quad (27)$$

где

$$a_L = 2k_L L G.$$

В качестве  $G$  примем установившееся значение расхода соответствующее рабочей точке характеристики. Используя ранее полученные зависимости (5), (20), (21), (27) определим передаточную функцию системы. Так как изменение во времени содержания вещества в системе  $m_s$  не имеет большого значения при описании динамических свойств то этот параметр можно исключить и тогда систему можно свести к двум уравнениям:

$$\Delta G_{ex} - \Delta G_{вых} = \frac{G}{p_{ex}} T_{ad} \frac{dp}{dt}; \quad (28)$$

$$\Delta p_{ex} - \Delta p_{вых} = a_L \Delta G. \quad (29)$$

Первое уравнение отражает эффект аккумуляции, второе – дросселирования в упрощенной системе [1].

Рассмотрим участок регулирования разрежения в топке котла, в котором задан расход на притоке, а давление в определенной точке поддерживается путем воздействия на сток рисунок 1. При решении этой задачи характерным является то обстоятельство, что расход воздуха определяется условиями работы топки и должен рассматриваться как внешнее возмущение. Для участка регулирования (рисунок 1) примем следующие упрощения: положим, что газоход после дымососа очень короткий и что обратная реакция давления в топке на расход газа  $G_{ex}$  пренебрежительно мала. Предположим, что аккумулирующая емкость топки и газоходов сосредоточена в одном объеме, а дросселирующая способность газоходов и поверхностей нагрева сосредоточена в одной точке. [1] Также учтем, что регулирование осуществляется изменением числа оборотов электродвигателя. С учетом принятых допущений заменим регулируемый участок упрощенной системой рисунок 2.

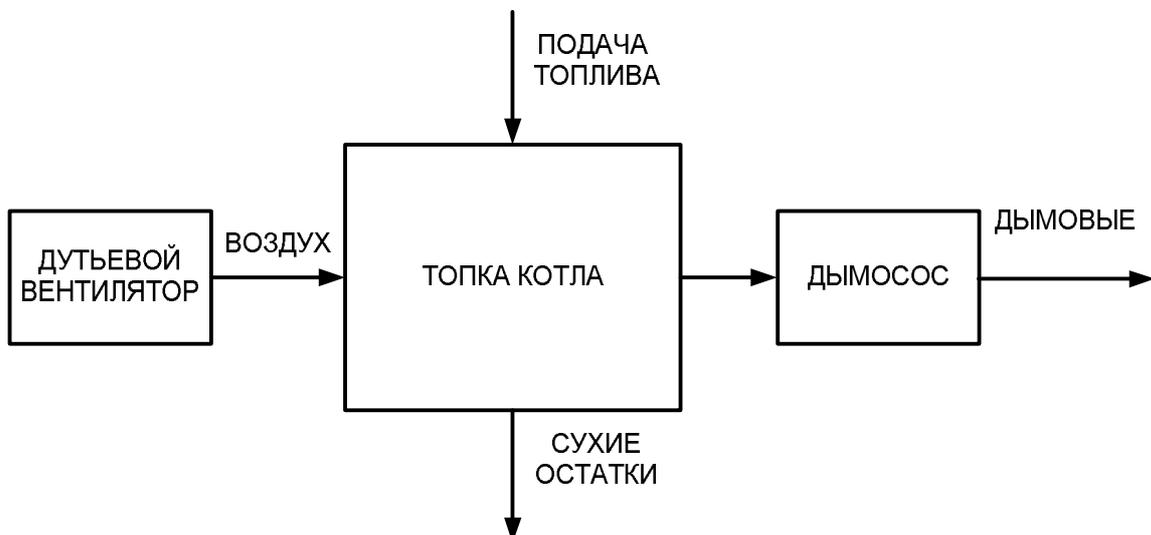


Рисунок 1 – Схема участка регулирования

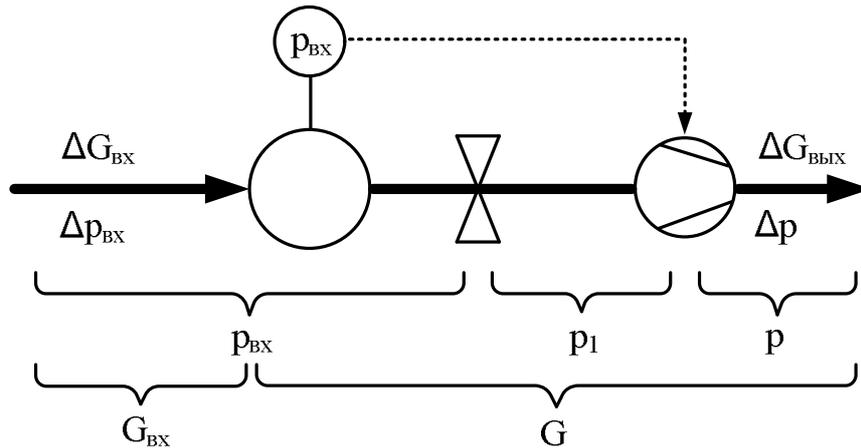


Рисунок 2 – Система регулирования давления (разрежения) в топке (расхода дымовых газов)

Регулируемой величиной является давление в топке  $p_{ex}$  или его отклонение  $\Delta p_{ex}$  от заданного значения; входной величиной (регулирующим воздействием) – скорость вращения дымососа или изменение скорости вращения дымососа  $\Delta\omega$ . В качестве внешнего возмущения примем расход газа на притоке  $G_{ex}$  (или его изменение  $\Delta G_{ex}$ ).

Уравнение динамики отдельных элементов упрощенной схемы найдем, используя выражения, полученные ранее. Для аккумулирующего объема согласно (27)

$$\Delta G_{ex} - \Delta G_{вых} = \frac{G}{p_{ex}} T \frac{d\Delta p_{ex}}{dt} \quad (30)$$

Для дросселя (докритический перепад) согласно (29)

$$\Delta p_{ex} - \Delta p_1 = a_L \Delta G_{вых} \quad (31)$$

На основании (26) для дымососа

$$\Delta \Delta H = \Delta p_{p_{ex}} - \Delta p_1 = 2k_H \omega \Delta \omega \quad (32)$$

В этом выражении вследствие постоянства давления на выходе (атмосферное давление)  $\Delta p_{ex}$  обращается в нуль. Исключив не интересующие нас в данном случае  $\Delta p_1$  и  $\Delta G_{вых}$  получаем дифференциальное уравнение регулируемого участка

$$a_L \Delta G_{ex} - a_L \frac{G}{p_{ex}} T \frac{d\Delta p_{ex}}{dt} - \Delta p_{ex} = 2k_H \omega \Delta \omega, \quad (33)$$

Из дифференциального уравнения (33) получим передаточные функции для регулирующего воздействия и внешнего возмущения. Для регулирующего воздействия

$$W_y(s) = \frac{-2k_H \omega}{1 + a_L \frac{G}{p_{ex}} Ts} \quad (34)$$

Для внешнего возмущения

$$W_e(s) = \frac{a_L}{1 + a_L \frac{G}{p_{ex}} Ts}, \quad (35)$$

где  $s$  – оператор Лапласа – передаточная функция звена первого порядка, где согласно (16)

$$T = \alpha \frac{m_s}{G},$$

постоянная времени изменения состояния, для газа  $\alpha \approx 0,85$  [1].

**Вывод.** С использованием уравнений термодинамического состояния среды, баланса масс и давлений выведено дифференциальное уравнение системы регулирования разрежения в топке котла. При этом использовался ряд допущений, и регулирование осуществляется изменением скорости вращения двигателя. На основании полученного дифференциального уравнения составлена передаточная функция системы, как по управляющему воздействию, так и по возмущающему. С использованием полученных передаточных функций составлена модель системы регулирования в топке котла.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Профос, П. Регулирование паросиловых установок / П. Профос. -М.: Энергия, 1967. - 368 с.
- 2 Черкасский, В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры: учеб. для теплоэнерг. спец. вузов / В.М. Черкасский. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1984.
- 3 Браславский, И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учеб. пособие для студентов высших учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; под ред. И.Я. Браславского. -М.: Академия, 2004.
- 4 Аэродинамический расчет тяги и дутья котлоагрегата: типовой проект-81.  
*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* давление, термодинамическое состояние, системы регулирования  
*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:* Симаков Геннадий Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Марченко Михаил Александрович, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»  
*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:* 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

**СНИЖЕНИЕ ИНЕРЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СИЛ, ВЫЗЫВАЮЩИХ ВИБРАЦИЮ – АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ, ПУТИ РЕШЕНИЯ**

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**А.К. Зувев, Ю.И. Ришко, Л.О. Соловьева**

**DROP OF THE INERTIAL COMPONENT OF THE FORCES CAUSING VIBRATION – THE URGENCY OF THE PROBLEM, THE DECISION WAY**

«Novosibirsk state academy of water transport»

A.K. Zuev, U.I. Rishko, L.A. Solov'eva

Problems of drop of vibration and noise on courts are considered. The urgency of drop of the inertial making dynamic force revolting fluctuations of the bases of ship power installations is shown.

Рассмотрены проблемы снижения вибрации и шума на судах. Показана актуальность снижения инерционной составляющей динамической силы, возмущающей колебания фундаментов судовых энергетических установок.

Данная работа преследует две цели: выявление наиболее актуальной проблемы в борьбе с шумом и вибрацией на водном транспорте, а так же определения наиболее перспективного способа ее решения.

Причины появления вибрации и шума находятся как внутри судна, так и за его пределами. Внешний источник вибрации это волны, ветер, другой транспорт, внутренние источники – винт, механизмы приводов, двигатели (главные и вспомогательные) [1]. Если, возможности влияния на внешние источники, весьма ограничены, то с внутренними источниками просто необходимо бороться.

Когда речь идет о вибрации, в большинстве случаев подразумеваются механические колебания, осязаемые человеком в диапазоне 1,6-1000 Гц. Более высокие частоты колебаний в большей степени воспринимаются как шум. Основным источником вибрации на судне являются судовые энергетические установки (СЭУ), а именно двигатели внутреннего сгорания (из-за наличия дисбалансов сил и моментов, а так же пульсации газов и механического шума).

Борьба с шумом и вибрацией на судах ведется по следующим основным направлениям [1]:

1 Снижение активности источника шума и вибрации путем выполнения мероприятий конструктивного, технологического и эксплуатационного характера (борьба в источнике).

2 Виброизоляция источника вибрации с помощью применения виброзащитных систем (ВЗС) и вибропоглощающих материалов;

3 Борьба с вибрацией на путях ее распространения.

Исследуем второй путь, а именно изоляцию источника вибрации путем снижения динамических сил вызывающих колебания защищаемого объекта (фундамента СЭУ) при помощи специальных виброизолирующих систем (ВИС). В идеале – вибрации защищаемого объекта будут отсутствовать, если все силы и моменты, действующие на него со стороны ВИС будут постоянны во времени.

Следовательно, основой идеальной виброизоляции является уравновешивание системы внешних сил и моментов в любой отрезок времени, т.е. приведение главного вектора и главного момента к нулю в любой момент времени [2]

$$\left. \begin{aligned} P_x + P_{nx} + P_{mx} + P_{ux} &= 0, \\ P_y + P_{ny} + P_{my} + P_{uy} &= 0, \\ P_z + P_{nz} + P_{mz} + P_{uz} &= 0, \\ M_x(\vec{P}) + M_x(\vec{P}_n) + M_x(\vec{P}_m) + M_x(\vec{P}_u) &= 0, \\ M_y(\vec{P}) + M_y(\vec{P}_n) + M_y(\vec{P}_m) + M_y(\vec{P}_u) &= 0, \\ M_z(\vec{P}) + M_z(\vec{P}_n) + M_z(\vec{P}_m) + M_z(\vec{P}_u) &= 0. \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где  $\vec{P}$  – силы, передаваемые через защищаемый объект вибрирующему;  
 $\vec{P}_n$  – силы упругого взаимодействия вибрирующего и защищаемого объектов;  
 $\vec{P}_m$  – диссипативные силы (силы трения) взаимодействия этих объектов;  
 $\vec{P}_u$  – силы инерции промежуточных звеньев, соединяющих вибрирующий и защищаемый объекты.

Из (1) следует, что существует три составляющие динамической силы или момента вызывающих вибрацию фундамента виброизолированного источника – упругости, трения и инерции.

Сила упругости являются функцией перемещения, возникает при деформации виброизолятора, зависит от его жесткости и при малых деформациях без большой погрешности подчиняется закону Гука.

Диссипативные силы (силы трения) зависят от скорости вибрирующего объекта (ВО) совершают необратимую работу, возникая при любых деформациях системы или ее элементов. Различают следующие основные виды диссипативных сил – силы трения в опорах и сочленениях, силы сопротивления среды, силы внутреннего трения в материалах.

Силы и моменты от сил инерции зависят от ускорения ВО, возникают при ускоренном движении элементов подвески и передаются на защищаемый объект.

Традиционно на судах для виброизоляции СЭУ применяются специальные виброизолирующие системы, сконструированные, как правило, из серийно выпускаемых виброизоляторов. Кроме того, используют виброизолирующие муфты, гибкие патрубки, вставки и различного рода прокладки из резины, пластмассы и прочих подобных материалов с малым акустическим сопротивлением.

Общепринято классифицировать виброизоляторы по следующим параметрам: вид или способ введения демпфирования; по материалу упругого элемента:

*Резинометаллические виброизоляторы.* Упругим элементом виброизоляторов этого типа является фасонный резиновый массив. Диапазон изменения упругих характеристик этих виброизоляторов определяется как маркой резины, так и конфигурацией упругого элемента. К этой группе относятся амортизатор И.И. Клюкина судовой со страховкой (АКСС), виброизолятор двухпластинчатый наклонный судовой (ДПН) (рисунок 1). Применяются для установки главных двигателей и дизель генераторов, не требует установки отбойников в случае ударов и сотрясаний корпуса судна. Становятся эффективны на частотах выше 25-30 Гц. Упругие элементы виброизоляторов выполнены из маслостойкой резины и допускает длительную эксплуатацию в условиях изменения температуры от -5 °С до +70 °С. Повышенная жесткость делает их эффективными при защите от интенсивных ударных воздействий.

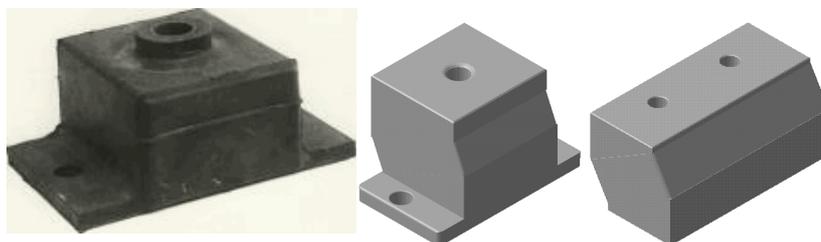


Рисунок 1 – Судовые резинометаллические виброизоляторы

Упругим элементом виброизоляторов этого типа является фасонный резиновый массив. Диапазон изменения упругих характеристик этих виброизоляторов определяется как маркой резины, так и конфигурацией упругого элемента. К этой группе относятся амортизатор И.И. Клюкина судовой со страховкой (АКСС), виброизолятор двухпластинчатый наклонный судовой (ДПН) (рисунок 1). Применяются для установки главных двигателей и дизель генераторов, не требует установки отбойников в случае ударов и сотрясаний корпуса судна. Становятся эффективны на частотах выше 25-30 Гц. Упругие элементы виброизоляторов выполнены из маслостойкой резины и допускает длительную эксплуатацию в условиях изменения температуры от -5 °С до +70 °С. Повышенная жесткость делает их эффективными при защите от интенсивных ударных воздействий.

*Пружинные виброизоляторы с демпфированием.* Упругий элемент пружинных виброизоляторов представляет фасонную пружину, коническую или экспоненциальную, назначение которой состоит в том, чтобы статическая характеристика была нелинейной, например об-

ладала свойством равночастотности (рисунок 2).

*Цельнометаллические виброизоляторы.* Упругий элемент цельнометаллических виброизоляторов может быть выполнен в виде пружины рессорного типа или из прессованных гофрированных лент; металлической витой проволоки или сетки.

Снижение вибрации современными подвесками происходит по большей части за счет снижения упругой составляющей динамических сил, вызывающих вибрацию. Эффективность таких подвесок зависит от упругих свойств виброизоляторов и существенно ограничена требованиями к смещениям судовых дизелей с одной стороны и необходимостью значительной грузочной способности – с другой.

В последние десятилетия активно развивается направление виброизоляции при помощи корректора жёсткости (КЖ). Корректором (компенсатором) жёсткости называется устройство, жёсткость которого отрицательна. Параллельное соединение обычного виброизолятора и корректора может быть использовано как эффективный виброизолятор [3]. Направление является перспективным, поскольку жесткость виброизолятора может быть снижена, не зависимо от его несущей способности.

Однако, даже в случае создания работоспособной подвески нулевой жесткости, в которой отсутствуют силы упругости, вибрация будет возникать из-за наличия динамических сил инерции и трения. Причем интенсивность вибрации, вызванной силами инерции, не уступает упругой составляющей начиная с 250-500 Гц для судовых ВИС [4].

Снизить силы инерции теоретически возможно следующими способами:

- путем уменьшения массы [5];
- включения компенсатора сил инерции [6];
- разделения импульса инерционной силы [7].

Первый способ имеет существенные ограничения по удельной потенциальной энергии, способной накапливаться в материале [5]. Третий способ весьма эффективен и может быть применен на судах [8], однако является не удобным для включения компенсатора жесткости из-за малых габаритов опоры. Как следствие можно наблюдать его малую эффективность на низких частотах (до 30-60 Гц).

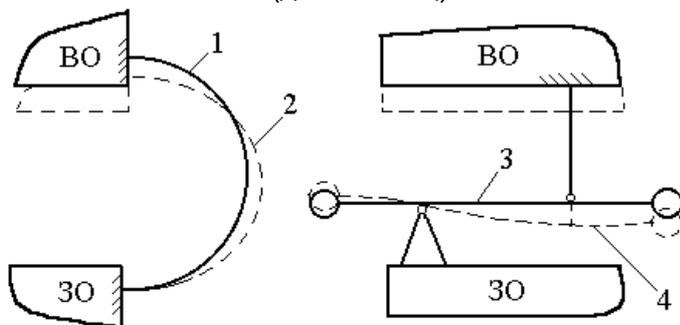


Рисунок 3 – Смещение элементов подвески

Второй способ был исследован на как на низких, так и на высоких частотах [9]. Причем эффективность компенсатора сил инерции (КСИ) оказалась весьма ограничена на частотах близких к резонансным и превышающих их [9]. Данное обстоятельство объясняется рассогласованием КСИ с упругим элементом (рисунок 3).

Проблема может быть решена созданием компенсатора сил инерции (КСИ), сохраняющего эффективность в

широком диапазоне частот. Такой компенсатор должен срабатывать на частотах до первого резонанса, за его пределами, а так же внутри резонансных зон частотных характеристик. Для этого необходимо чтобы форма собственных колебаний КСИ позволяла добиться компенсирующей силы в любой момент равной по величине и противоположной по направлению силе инерции упругого элемента виброизолятора.

- Рассмотрим возможные проблемы данного направления: действительно ли синхронная работа КСИ и упругого элемента возможна за счет совпадения собственных частот их колебаний? Следовательно необходимо:
- установить является ли совпадение собственной частоты первого тона КСИ и упругого элемента, достаточным условием для совпадения собственных частот последующих тонов;
  - установить влияние форм собственных колебаний КСИ и упругого элемента на эффективность компенсации;
  - обеспечить правильный подбор геометрических и массовых параметров упругого элемента подвески и КСИ, чтобы обеспечить их синхронную работу;

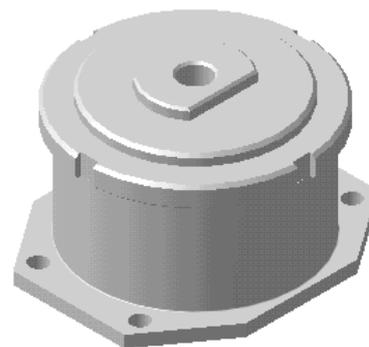


Рисунок 2 – Амортизатор пружинный со страховкой (АПРС)

– установить допустимую степень рассогласования в работе этих устройств.  
– определить границы возможного использования широкополосного КСИ, степень его эффективности в различных частотных диапазонах подвесок различных технических устройств, генерирующих вибрации.

Ответы на данные вопросы, по нашему мнению, позволят сделать заключение об эффективности вышеуказанного направления, покажут области его возможного внедрения как в технике вообще, так и непосредственно в отрасли водного транспорта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гаврилов, М.Н. Защита от шума и вибрации на судах / М.Н. Гаврилов, В.К. Захаров. - М.: Транспорт, 1979. -120 с.

2 Зуев, А.К. Высокоэффективная виброизоляция судового энергетического оборудования: учеб. пособие для вузов / А.К. Зуев, О.Н. Лебедев. -Новосибирск: НГАВТ, 1997. -119 с.

3 Барановский, А.М. Теоретические основы эффективной виброизоляции на судах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А.М. Барановский. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2000. -35 с.

4 Ришко, Ю.И. К расчету пружины, как элемента, передающего вибрацию / Ю.И. Ришко // Дизельные энергетические установки речных судов: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 1999. -С. 123-127.

5 Ришко, Ю.И. Методы снижения инерционного взаимодействия в упругих подвесках / Ю.И. Ришко, А.А. Зуев // Ресурсосберегающие технологии на транспорте: сб. науч. тр. / Новосибир. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2000. -С. 110-114.

6 Ришко, Ю.И. Двухосный компенсатор сил инерции / Ю.И. Ришко, А.А. Зуев // Сиб. науч. вестн. / Новосиб. науч. центр «Ноосферные знания и технологии» Рос. акад. естеств. наук. -Новосибирск, 1999. -Вып. III. -С. 35-40.

7 Зуев, А.А. Исследование распределенных компенсаторов жесткости для виброизолирующих опор судовых дизель-генераторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.А. Зуев. -Новосибирск, 2000. -18 с.

8 Результаты испытаний виброизоляторов с распределенными миниатюрными упругими элементами, установленными под судовой дизель-генератор / М.К. Романченко [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока / ФГОУ ВПО Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2006. -№1. -С. 132-134.

9 Ришко, Ю.И. Эффективность компенсатора сил инерции / Ю.И. Ришко // Кинематика и динамика механизмов: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2000. -С. 108-115.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** виброизолирующие системы, виброизоляторы, силы упругости, силы инерции, компенсатор сил инерции, корректор сил инерции

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Зуев Анатолий Кузьмич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Ришко Юрий Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Соловьева Лидия Олеговна, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

### ИССЛЕДОВАНИЕ НИЖНИХ ОЦЕНОК ДЛЯ ЧАСТОТЫ ОСНОВНОГО ТОНА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**М.К. Романченко**

#### RESEARCH OF THE BOTTOM ESTIMATIONS FOR FREQUENCY OF THE BASIC TONE

«Novosibirsk state academy of water transport»

M.K. Romanchenko

The mechanical system consisting of an elastic construction, bearing a number of the concentrated cargoes is considered. Conclusions showing the big difference in definition of own frequencies on size are received. Recommendations about use of formulas for the approached definition of first own frequency are made. The received bottom border different from exact value on 0,32 %. Possibility of unlimited increase in accuracy of the bottom estimation of frequency of the basic tone is shown.

Рассмотрена механическая система, состоящая из упругого сооружения, несущего ряд сосредоточенных грузов. Получены выводы показывающие большую разницу в определении собственных частот по величине. Даны рекомендации по использованию формул для приближенного определения первой собственной частоты. Полученная нижняя граница отличающаяся от точного значения на

0,32%. Показана возможность неограниченного увеличения точности нижней оценки частоты основного тона.

При рассмотрении определителя коэффициент при неизвестной  $w^{-2}$  в старшей степени, а именно в степени  $n$ , равен  $(-1)^n$ . Легко сообразить, чему будет равен следующий коэффициент при  $(w^{-2})^{n-1}$ . Если раскрыть определитель по элементам первого столбца или первой строки, то мы обязательно получим член  $\beta_{11}m_1(w^{-2})^{n-1}(-1)^{n-1}$ , но аналогичные члены получаются при раскрытии определителя по элементам любой другой строки или столбца. Поэтому если уравнение частот имеет вид

$$\left(\frac{1}{w^2}\right)^n + A_1\left(\frac{1}{w^2}\right)^{n-1} + \dots = 0, \quad (1)$$

где

$$A = -(\beta_{11}m_1 + \beta_{22}m_2 + \dots + \beta_{nn}m_n).$$

С другой стороны, коэффициент при втором по старшинству члене в алгебраическом уравнении равен сумме корней его с обратным знаком

$$A = -\frac{1}{w_1^2} - \frac{1}{w_2^2} - \dots - \frac{1}{w_n^2}, \quad (2)$$

отсюда

$$\frac{1}{w_1^2} = \beta_{11}m_1 + \beta_{22}m_2 + \dots + \beta_{nn}m_n - \left(\frac{1}{w_2^2} + \frac{1}{w_3^2} + \dots + \frac{1}{w_n^2}\right). \quad (3)$$

Выражение, заключенное в скобки, всегда положительно, поэтому справедливо неравенство

$$\frac{1}{w_1^2} \leq \beta_{11}m_1 + \beta_{22}m_2 + \dots + \beta_{nn}m_n. \quad (4)$$

Рассматривая механическую систему, состоящую из упругого сооружения, несущего ряд сосредоточенных грузов [1], мы убедились, что собственные частоты довольно сильно разнятся по величине; поэтому формула (4) может быть использована для приближенного определения первой собственной частоты. Обращаясь к числовым данным упомянутой механической системы, получим

$$\frac{1}{w_1^2} \leq (9 + 16 + 9) \frac{ma^3}{12EI} = \frac{17}{6} \frac{ma^3}{EI}; \quad (5)$$

$$w_1 \geq 0,594 \sqrt{\frac{EI}{ma^3}}. \quad (6)$$

Полученная нижняя граница отличается от точного значения на 3,74%. Формула (4) была получена из эксперимента Данкерли в середине XIX века.

Нижнюю оценку (4) можно как угодно улучшить, применив следующий прием. По формулам [1] меняя индексы, получим

$$a_i = w^2 \beta_{js} m_s a_s. \quad (7)$$

Внесем полученное выражение в формулу

$$a_i - \omega^2 \beta_{ij} m_j a_j = 0. \quad (8)$$

В результате придем к следующей линейной однородной системе, которая совершенно эквивалентна исходной

$$a_i - w^4 \sum_{j,s} \beta_{ij} \beta_{js} m_j m_s a_s = 0. \quad (9)$$

Составляя определитель системы (9), получим уравнение частот, подобное [1] но содержащее уже не квадраты собственных частот, а их четвертые степени. Повторяя буквально приведенные выше рассуждения, найдем

$$\frac{1}{w_1^4} \leq \beta_{1j}^2 m_j m_1 + \beta_{2j}^2 m_j m_2 + \dots \quad (10)$$

Неравенство (10) более строгое чем (4) потому что сумма

$$\frac{1}{w_2^4} + \frac{1}{w_3^4} + \dots,$$

меньше по сравнению с величиной  $w_1^{-4}$  чем аналогичная сумма обратных квадратов частот по сравнению с  $w_1^{-2}$ . Обращаясь к тому же примеру, находим

$$\frac{1}{w_1^4} \leq (121 + 256 + 121) \left( \frac{ma^3}{12EI} \right)^2, \quad (11)$$

отсюда

$$w_1 \geq 0,615 \sqrt{\frac{EI}{ma^3}}. \quad (12)$$

Теперь разница с точным решением составляет всего 0,32%.

Очевидно, что аналогичным образом, вместо (9), можно получить уравнение, содержащее шестые, восьмые и вообще любые четные степени  $w$ ; таким образом, точность нижней оценки частоты основного тона можно неограниченно увеличивать.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Романченко, М.К. Колебание систем с конечным числом степеней свободы / М.К. Романченко. Дизельные энергетические установки речных судов: сб. науч. тр. / Новосибир. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2009.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *механическая система, определение собственных частот, первая собственная частота, нижняя оценка частоты основного тона, защита от вибрации, изменение собственной частоты*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Романченко Михаил Константинович, канд. техн. наук, старший преподаватель ФГОУ ВПО «НГавТ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавТ»*

## **АНАЛИТИЧЕСКОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ ОДНОГО КЛАССА ОПРЕДЕЛЕННЫХ ИНТЕГРАЛОВ ОТ СТЕПЕННО-ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ С ПОМОЩЬЮ ДВОЙНЫХ СУММ**

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

**О.Г. Куделин, Е.В. Смирнова**

### **ANALYTICAL CALCULATION OF ONE CLASS OF CERTAIN INTEGRALS FROM SEDATE-LOGARITHMIC FUNCTION BY MEANS OF DOUBLE SUMS**

«Novosibirsk state academy of water transport»

O.G. Kudelin, E.V. Smirnova

In the given article the method of calculation of certain integrals from sedate - logarithmic function by means of the double sums is offered. The received analytical results are of interest both from the mathematical point of view, and from the point of view of their application for the decision of some physical problems.

Предложен метод вычисления определённых интегралов от степенно - логарифмической функции с помощью двойных сумм. Полученные аналитические результаты представляют интерес как с математической точки зрения, так и с точки зрения их применения для решения ряда физических задач.

В данной статье рассматривается вычисление определённого интеграла

$$R = \int_{q_1}^{q_2} x^{p \log_a^s(x) + \beta} dx, \quad (1)$$

с помощью методики, предложенной в работах [1, 2], где  $p, s, a, \beta, q_1, q_2$  – параметры из их областей допустимых значений.

Исходный интеграл (1) сводится к вычислению

$$U = \int_{q_1}^{q_2} a^{x(p x^s + \alpha)} dx. \quad (2)$$

И действительно

$$R = \int_{q_1}^{q_2} x^{p \log_a^s(x) + \beta} dx = \left\{ \begin{array}{l} \log_a(x) = t, x = a^t, dx = a^t \ln(a) dt \\ q_1 \mapsto \log_a(q_1), q_2 \mapsto \log_a(q_2) \end{array} \right\} =$$

$$= \int_{\log_a(q_1)}^{\log_a(q_2)} (a^t)^{pt^s + \beta} a^t \ln(a) dt = \ln(a) \int_{\log_a(q_1)}^{\log_a(q_2)} a^{pt^{s+1} + \beta t + t} dt = \ln(a) \int_{\log_a(q_1)}^{\log_a(q_2)} a^{t(pt^s + \beta + 1)} dt .$$

Таким образом, для вычисления (1) необходимо вычислить интеграл (2). Следуя работе [1], применим аналитический прием для вычисления интеграла (2)

$$U = \int_{q_1}^{q_2} a^{x(px^s + \alpha)} dx, \quad a > 0, a \neq 1, \alpha = \beta + 1,$$

при заданных параметрах  $\alpha, q_1, q_2, p, s$  из их областей допустимых значений.

Выводится формула для интеграла

$$U_{k,m} = \int_{q_1}^{q_2} x^k (px^s + \alpha)^m dx ,$$

рекурсией по целому неотрицательному параметру  $m$ , и полученный результат применяется к вычислению интеграла

$$U = \int_{q_1}^{q_2} a^{x(px^s + \alpha)} dx .$$

Нестандартный степенной ряд

$$a^{x(px^s + \alpha)},$$

в разложении Маклорена

$$\sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} \cdot [x(px^s + \alpha)]^k \ln^k(a),$$

абсолютно сходится, так как для него имеет силу признак Даламбера [3]

$$\lim_{k \rightarrow +\infty} \frac{[x(px^s + \alpha)]^{k+1} \ln^{k+1}(a) \cdot k!}{(k+1)! \cdot [x(px^s + \alpha)]^k \ln^k(a)} = [x(px^s + \alpha)] \ln(a) \cdot \lim_{k \rightarrow +\infty} \frac{1}{k+1} = 0 < 1 .$$

Следовательно

$$U = \int_{q_1}^{q_2} a^{x(px^s + \alpha)} dx = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\ln^k(a)}{k!} \cdot \int_{q_1}^{q_2} [x(px^s + \alpha)]^k dx = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\ln^k(a)}{k!} \cdot U_{k,k} .$$

Методом интегрирования по частям устанавливается рекурсивное соотношение

$$U_{k,m} = \int_{q_1}^{q_2} x^k (px^s + \alpha)^m dx = \left\{ \begin{array}{l} (px^s + \alpha)^m = v, dv = m(px^s + \alpha)^{m-1} \cdot ps \cdot x^{s-1} dx; \\ x^k dx = du, u = \frac{x^{k+1}}{k+1} \end{array} \right\} =$$

$$(px^s + \alpha)^m \frac{x^{k+1}}{k+1} \Big|_{q_1}^{q_2} - ps \frac{m}{k+1} \int_{q_1}^{q_2} x^{k+s} (px^s + \alpha)^{m-1} dx = (px^s + \alpha)^m \frac{x^{k+1}}{k+1} \Big|_{q_1}^{q_2} - ps \frac{m}{k+1} U_{k+s,m-1} =$$

$$= (px^s + \alpha)^m \frac{q_2^{k+1} - q_1^{k+1}}{k+1} - ps \frac{m}{k+1} U_{k+s,m-1} .$$

Действительно, при  $m = 0, 1, 2, 3$  :

$$U_{k,0} = \int_{q_1}^{q_2} x^k dx = \frac{x^{k+1}}{k+1} \Big|_{q_1}^{q_2} = \frac{1}{k+1} (q_2^{k+1} - q_1^{k+1}) ;$$

$$U_{k,1} = (-1)^1 q_2^{k+1} \left[ -\frac{(pq_2^s + \alpha)}{k+1} + \frac{ps}{(k+1)(k+s+1)} q_2^s \right] - (-1)^1 q_1^{k+1} \left[ -\frac{(pq_1^s + \alpha)}{(k+1)} + \frac{ps}{(k+1)(k+s+1)} q_1^s \right] ;$$

$$U_{k,2} = 2! q_2^{k+1} \left[ \frac{(pq_2^s + \alpha)^2}{2!(k+1)} - ps \frac{(pq_2^s + \alpha) q_2^s}{1!(k+1)(k+s+1)} + \frac{(ps)^2 q_2^{2s}}{(k+1)(k+s+1)(k+2s+1)} \right] -$$

$$- 2! q_1^{k+1} \left[ \frac{(pq_1^s + \alpha)^2}{2!(k+1)} - ps \frac{(pq_1^s + \alpha) q_1^s}{1!(k+1)(k+s+1)} + \frac{(ps)^2 q_1^{2s}}{(k+1)(k+s+1)(k+2s+1)} \right] ;$$

$$U_{k,3} = (-1)^3 3! q_2^{k+1} \left[ \frac{(pq_2^s + \alpha)^3}{3!(k+1)} + \frac{ps(pq_2^s + \alpha)^2 q_2^s}{2!(k+1)(k+s+1)} - \frac{(ps)^2 (pq_2^s + \alpha) q_2^{2s}}{1!(k+1)(k+s+1)(k+2s+1)} + \frac{(ps)^3 q_2^{3s}}{(k+1)(k+s+1)(k+2s+1)(k+3s+1)} \right] -$$

$$- (-1)^3 3! q_1^{k+1} \left[ \frac{(pq_1^s + \alpha)^3}{3!(k+1)} + \frac{ps(pq_1^s + \alpha)^2 q_1^s}{2!(k+1)(k+s+1)} - \frac{(ps)^2 (pq_1^s + \alpha) q_1^{2s}}{1!(k+1)(k+s+1)(k+2s+1)} + \frac{(ps)^3 q_1^{3s}}{(k+1)(k+s+1)(k+2s+1)(k+3s+1)} \right]$$

реализация рекурсии приводит к результату

$$U_{k,m} = (-1)^m m! q_2^{k+1} \sum_{j=0}^m \frac{(-1)^j (pq_2^s + \alpha)^j (ps)^{m-j} q_2^{(m-j)s}}{j! \prod_{i=0}^{m-j} (k+is+1)} - (-1)^m m! q_1^{k+1} \sum_{j=0}^m \frac{(-1)^j (pq_1^s + \alpha)^j (ps)^{m-j} q_1^{(m-j)s}}{j! \prod_{i=0}^{m-j} (k+is+1)}$$

В частности, при  $m = k$ :

$$U_{k,k} = (-1)^k k! q_2^{k+1} \sum_{j=0}^k \frac{(-1)^j (pq_2^s + \alpha)^j (ps)^{(k-j)} q_2^{(k-j)s}}{j! \prod_{i=0}^{k-j} (k+is+1)} - (-1)^k k! q_1^{k+1} \sum_{j=0}^k \frac{(-1)^j (pq_1^s + \alpha)^j (ps)^{(k-j)} q_1^{(k-j)s}}{j! \prod_{i=0}^{k-j} (k+is+1)}$$

Подставляя полученное выражение  $U_{k,k}$  в  $U$ , запишем значение интеграла (2) в виде двойной суммы

$$U = \int_{q_1}^{q_2} a dx = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\ln^k(a)}{k!} \cdot \int_{q_1}^{q_2} x^k (px^s + \alpha)^k dx =$$

$$= \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \ln^k(a) \left\{ q_2^{k+1} \sum_{j=0}^k \frac{(-1)^j (pq_2^s + \alpha)^j (ps)^{(k-j)} q_2^{(k-j)s}}{j! \prod_{i=0}^{k-j} (k+is+1)} - q_1^{k+1} \sum_{j=0}^k \frac{(-1)^j (pq_1^s + \alpha)^j (ps)^{(k-j)} q_1^{(k-j)s}}{j! \prod_{i=0}^{k-j} (k+is+1)} \right\},$$

следовательно, имеем формулу и для вычисления искомого интеграла (1) в виде

$$R = \int_{q_1}^{q_2} x^{p \log_a(x) + \beta} dx = \ln(a) \int_{\log_a(q_1)}^{\log_a(q_2)} a^{x(p \log_a(x) + \beta + 1)} dx = \ln(a) \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\ln^k(a)}{k!} \cdot \int_{\log_a(q_1)}^{\log_a(q_2)} x^k (px^s + \beta + 1)^k dx =$$

$$= \ln(a) \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \ln^k(a) \cdot \left\{ \begin{aligned} & \log_a^{k+1}(q_2) \cdot \sum_{j=0}^k \frac{(-1)^j [p \log_a^s(q_2) + \beta + 1]^j (ps)^{(k-j)} \log_a^{(k-j)s}(q_2)}{j! \prod_{i=0}^{k-j} (k+is+1)} - \\ & - \log_a^{k+1}(q_1) \cdot \sum_{j=0}^k \frac{(-1)^j [p \log_a^s(q_1) + \beta + 1]^j (ps)^{(k-j)} \log_a^{(k-j)s}(q_1)}{j! \prod_{i=0}^{k-j} (k+is+1)} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Вычислительную эффективность этого ряда можно оценить путем сравнения сходимости его частичных сумм с результатами применения метода Симпсона к интегралу  $R$  (с точностью  $10^{-8}$ ).

Результаты по Симпсону при соответствующих значениях параметров равны:

- 1) 36,43059343 при  $q_1 = 1; q_2 = 1,6; p = 3,2; s = 2,8; a = 3; \beta = 3$ ;
- 2) 5,05486882 при  $q_1 = 1; q_2 = 1,6; p = -3,2; s = 2,8; a = 3; \beta = 3$ ;
- 3) 2,62781400 при  $q_1 = 1; q_2 = 1,6; p = 3,2; s = 1,5; a = 3; \beta = -1$ ;
- 4) 54,04981144 при  $q_1 = 1,2; q_2 = 2,6; p = 2; s = 0,5; a = 1,2; \beta = 0,8$ ;
- 5) 1,55081573 при  $q_1 = 0,1; q_2 = 0,8; p = 0,2; s = 1; a = 0,3; \beta = -1$ .

Сходимость суммы ряда с увеличением числа членов  $N$  иллюстрируется таблицей.

Таблица – Сходимость суммы ряда с увеличением числа членов

1	$N$	5	10	20	25
	$R$	23,85823827	35,86343503	36,43058450	36,43059343
2	$N$	2	5	12	16
	$R$	3,63128139	4,98117595	5,05486762	5,05486882

*Продолжение таблицы*

3	N	2	5	10	15
	R	2,12237247	2,60047135	2,62779144	2,62781400
4	N	5	10	20	27
	R	32,36178178	52,88125032	54,04978528	54,04981144
5	N	2	5	7	10
	R	1,58267675	1,55071232	1,55081461	1,55081573

Полученный аналитический результат (3) для вычисления определённого интеграла

$$R = \int_{q_1}^{q_2} x^{p \log_b^2(x) + \beta} dx,$$

представляет интерес не только с математической точки зрения, но и его физического приложения для решения ряда практических задач.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Куделин, О.Г. Вычисление одного класса определенных интегралов в аналитическом виде с помощью бесконечных сумм / О.Г. Куделин, Е.В. Смирнова // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2007. -№2. -С. 107-109.

2 Куделин, О.Г. Вычисление определенных интегралов с помощью двойных сумм в аналитическом виде / О.Г. Куделин, Е.В. Смирнова // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2008. -№1. -С. 176-179.

3 Фихтенгольц, Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т.2 / Г.М. Фихтенгольц. -М.: Физматлит, 1962. -807 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** степенно-логарифмическая функция, рекурсия, нестандартный степенной ряд, разложение Маклорена, признак Даламбера

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Куделин Олег Георгиевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Смирнова Екатерина Викторовна, канд. пед. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РЕЖИМОВ СТАЦИОНАРНОГО ДВИЖЕНИЯ ДИЗЕЛЯ, УСТАНОВЛЕННОГО НА НЕЛИНЕЙНЫЕ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИЕ ОПОРЫ**

ФГОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**С.Н. Бурков, А.М. Ефремов**

**THE RESEARCH OF TOLERANCE OF STATIONARY REGIMES OF OSCILLATIONS OF THE DIESEL ENGINE PLANTED ON NONLINEAR VIBRATION-ISOLATED PILES**

«Novosibirsk state agrarian university»  
«Novosibirsk state academy of water transport»

S.N. Burkov, A.M. Efremov

The problem of stationary oscillations of the Diesel engine planted on nonlinear shock-absorber is being resolved in this work. Restorable force was approximated by a cube dependence, which led to the solution of nonlinear differential equation. The approximate solution of the equation was puzzled out with the help of a harmonic balance method, as well as amplitude-frequency response was made and analyses here. The research of tolerance of stationary regimes of oscillations led to Matie equation, the analysis of which gives us the explanation of such phenomenon as transition of one stationary regime of oscillations of the Diesel engine to the another.

Решена задача стационарных колебаний дизеля, установленного на нелинейные амортизаторы. Восстанавливающая сила была аппроксимирована кубической зависимостью, что привело к решению нелинейного дифференциального уравнения. Приближенное решение уравнения найдено с помощью метода гармонического баланса, построена амплитудно-частотная характеристика и проведен ее анализ. Исследование устойчивости стационарных режимов колебаний привело к уравнению Матье. Анализ последнего объясняет явление «перескоков» одного стационарного режима колебаний дизеля на другой.

Как известно, для уменьшения вибрации дизель устанавливают на виброизолирующие опоры, жесткость которых должна быть минимальной. Поэтому в последнее время разрабатываются нелинейные механизмы, позволяющие получить в амортизаторах участок нулевой жесткости (например, виброизоляторы с компенсаторами жесткости). Динамические свойства

ва таких систем оказываются весьма интересными и совершенно отличаются от линейных колебательных систем, так как для таких колебательных систем приходится учитывать нелинейность восстанавливающей силы.

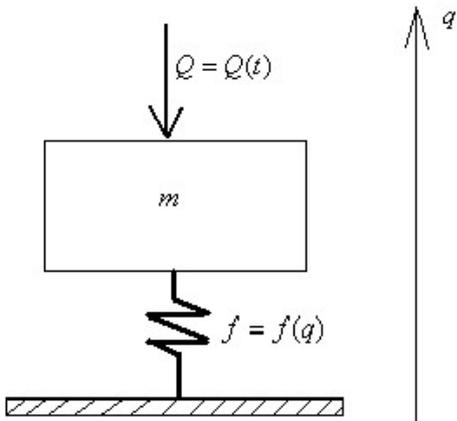


Рисунок 1 – Схема колебательной системы

Рассмотрим колебательную систему, состоящую из дизеля, установленного на опору с нелинейной восстанавливающей силой амортизатора (рисунок 1):

Дифференциальное уравнение такой системы имеет вид

$$m \cdot \ddot{q} + f(q) = Q(t). \quad (1)$$

Пусть восстанавливающая сила амортизатора представлена кубической зависимостью вида

$$f(q) = \lambda \cdot q^3,$$

а возмущающая сила

$$Q = H \cdot \sin(\omega \cdot t).$$

Тогда уравнение (1) примет вид

$$\ddot{q} + \alpha \cdot q^3 = \frac{H}{m} \sin(\omega \cdot t),$$

где 
$$\alpha = \frac{\lambda}{m}. \quad (2)$$

Для нахождения основных колебаний уравнения (1) принимают приближенно закон движения в виде  $q = A \cdot \sin(\omega \cdot t)$  и применяют метод гармонического баланса (смотри, например, [1]). В результате получают приближенное соотношение

$$-A \cdot \omega^2 + \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(A \cdot \sin \psi) \cdot \sin \psi \, d\psi = H, \quad (3)$$

где  $H$  – амплитуда возмущающей силы.

С помощью (3) получаем следующее приближенное решение уравнения (2)

$$-A \cdot \omega^2 + \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \alpha \cdot A^3 \sin^4 \psi \, d\psi = \frac{H}{m} \text{ или } \frac{3}{4} \cdot \pi \cdot \alpha \cdot A^3 = \frac{H}{m} + A \cdot \omega^2. \quad (4)$$

Можно построить график зависимости левой части от амплитуды  $A$  (на рисунке 2 –  $F_n$ ), а также прямую  $F_n(A)$ , соответствующую правой части соотношения (4). Если частота  $\omega$  «невелика», то прямая  $F_n(A)$  будет пересекать кривую в трех точках. С увеличением частоты  $\omega$  угол наклона прямой к оси абсцисс будет возрастать, и при каком-то определенном значении  $\omega = \omega_*$  прямая будет пересекать кривую в двух точках, а затем при увеличении частоты в одной точке.

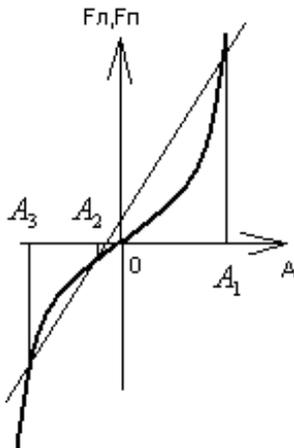


Рисунок 2 – Графическая зависимость

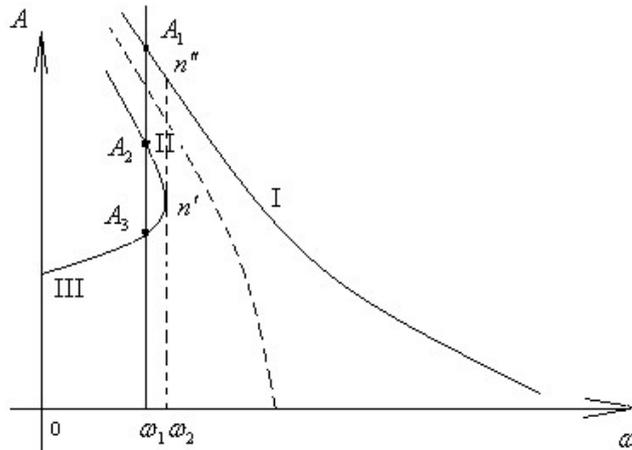


Рисунок 3 – Амплитудно-частотные характеристики

В работе [2] были получены амплитудно-частотные характеристики подобной нелинейной системы (рисунок 3), рассмотрение которой подтверждает сделанные ранее заключения. Например, при  $\omega = \omega_1$  мы имеем три решения с амплитудами  $A_1, A_2$  и  $A_3$  (рисунок 3)

Исследуем устойчивость стационарных режимов движения при  $\omega = \omega_1$ , то есть устойчивость решений  $q = A_i \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)$ , где  $i = 1, 2, 3$ .

Для исследования устойчивости какого-либо из найденных режимов, предположим, что он каким-либо образом возмущен и, следовательно, движение системы будет описываться суммой  $q_i + \delta q_i$ ; здесь второе слагаемое,  $\delta q_i$ , представляет собой вариацию функции  $q_i$ , то есть возмущение основного режима движения. Об устойчивости стационарного режима  $q_i = q_i(t)$  можно судить по характеру изменения во времени вариации  $\delta q_i$ .

Если выяснится, что при  $t \rightarrow \infty$  вариация  $\delta q_i \rightarrow 0$  или остается ограниченной, то возмущенное движение будет стремиться к стационарному режиму или оставаться вблизи него; следовательно, последний устойчив.

Если же при  $t \rightarrow \infty$  найдем, что вариация  $\delta q_i$  неограниченно возрастает, то исследуемый стационарный режим неустойчив.

Итак, решение  $q_i = A_i \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)$ , где  $i = 1, 2, 3$  должно удовлетворять уравнению (2), то есть уравнению

$$\ddot{q}_i + \alpha \cdot q_i^3 = \frac{H}{m} \cdot \sin(\omega \cdot t).$$

Но тому же дифференциальному уравнению должна удовлетворять функция  $q_i + \delta q_i$ . Поэтому, должно выполняться уравнение

$$\ddot{q}_i + \delta \ddot{q}_i + \alpha \cdot (q_i + \delta q_i)^3 = \frac{H}{m} \cdot \sin(\omega \cdot t). \quad (5)$$

Рассматривая малые величины  $\delta q_i$ , мы можем записать

$$f(q_i + \delta q_i) \approx f(q_i) + f'(q_i) \cdot \delta q_i \text{ или } (q_i + \delta q_i)^3 \approx (q_i)^3 + 3(q_i)^2 \cdot \delta q_i.$$

Подставляя последнее в уравнение (5) приходим к следующему уравнению:

$$\ddot{q}_i + \delta \ddot{q}_i + \alpha \left[ (q_i)^3 + 3(q_i)^2 \delta q_i \right] = \frac{H}{m} \sin(\omega \cdot t). \quad (6)$$

Вычтем из уравнения (2) уравнение (6), тогда получим

$$\delta \ddot{q}_i + 3\alpha (q_i)^2 \delta q_i = 0. \quad (7)$$

Подставим в (7)  $q_i = A_i \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)$ , где  $i = 1, 2, 3$  и для вариации стационарного режима получим следующее дифференциальное уравнение

$$\delta \ddot{q}_i + 3\alpha A_i^2 \sin^2(\omega_1 \cdot t) \delta q_i = 0. \quad (8)$$

Преобразуем уравнение (8). Для этого положим  $\omega_1 \cdot t = \tau$ , тогда  $t = \frac{\tau}{\omega_1}$ .

Пусть

$$\delta q_i = \xi \cdot \phi(t),$$

где  $\xi$  – произвольное малое постоянное число.

Тогда

$$\delta \left( \frac{dq_i}{d\tau} \right) = \frac{\xi}{\omega_1} \cdot \frac{d\phi}{dt} \text{ и } \delta \left( \frac{d^2 q_i}{d\tau^2} \right) = \frac{\xi}{\omega_1^2} \cdot \frac{d^2 \phi}{dt^2}. \quad (9)$$

С другой стороны

$$\delta(\dot{q}_i) = \xi \frac{d\phi}{dt} \text{ и } \delta(\ddot{q}_i) = \xi \frac{d^2 \phi}{dt^2}. \quad (10)$$

Из (9) и (10) получаем следующее равенство

$$\delta \left( \ddot{q}_i \right) = \omega_1^2 \cdot \delta \left( \frac{d^2 q_i}{d\tau^2} \right). \quad (11)$$

Подставим (11) в уравнение (8), получим следующее

$$\omega_1^2 \cdot \delta \left( \frac{d^2 q_i}{d\tau^2} \right) + 3\alpha \cdot A_i^2 \cdot \sin^2(\tau) \delta q_i = 0. \quad (12)$$

Как известно  $\sin^2 \tau = \frac{1 - \cos 2\tau}{2}$ , тогда

$$\omega_1^2 \cdot \delta \left( \frac{d^2 q_i}{d\tau^2} \right) + 3\alpha \cdot A_i^2 \cdot \left( \frac{1 - \cos 2\tau}{2} \right) \delta q_i = 0, \quad (13)$$

или

$$\delta \left( \frac{d^2 q_i}{d\tau^2} \right) + \left( \frac{3\alpha \cdot A_i^2}{2\omega_1^2} - 2 \cdot \frac{3\alpha \cdot A_i^2}{4\omega_1^2} \cdot \cos 2\tau \right) \delta q_i = 0. \quad (14)$$

Таким образом, для вариации стационарного режима получим следующее дифференциальное уравнение

$$\delta \left( \frac{d^2 q_i}{d\tau^2} \right) + (a - 2 \cdot \varepsilon \cdot \cos 2\tau) \delta q_i = 0, \quad (15)$$

где  $a = \frac{3\alpha \cdot A_i^2}{2\omega_1^2}$  и  $\varepsilon = \frac{3\alpha \cdot A_i^2}{4\omega_1^2}$ .

Дифференциальное уравнение (15) называется уравнением Матье. Решениями (15) служат специальные функции, называемые функциями Матье, свойства которых подробно изучены (смотри, например, [3]). Если дифференциальное уравнение задачи приведено к канонической форме (уравнение (15) и является таковым), то по данным значениям  $a$  и  $\varepsilon$  с помощью диаграммы устойчивости можно сразу сделать заключение об устойчивости или неустойчивости основного движения.

Для приближенного определения границ между областями устойчивости и неустойчивости в плоскости параметров  $a$  и  $\varepsilon$  может быть применен способ гармонического баланса. Приведем без вывода уравнения для первых четырех областей неустойчивости, обозначая значения  $a$  на границах  $n$ -й области неустойчивости через  $a_n^{np}$  и  $a_n^{nee}$ :

$$\begin{aligned} a_0^{np} &= -\frac{1}{2} \cdot \varepsilon^2 + \frac{7}{128} \cdot \varepsilon^4 - \dots, \\ a_1^{np} &= 1 + \varepsilon - \frac{1}{8} \cdot \varepsilon^2 - \frac{1}{64} \cdot \varepsilon^3 - \frac{1}{1536} \cdot \varepsilon^4 + \dots, \\ a_1^{nee} &= 1 - \varepsilon - \frac{1}{8} \cdot \varepsilon^2 + \frac{1}{64} \cdot \varepsilon^3 - \frac{1}{1536} \cdot \varepsilon^4 - \dots, \\ a_2^{np} &= 4 + \frac{5}{12} \cdot \varepsilon^2 - \frac{763}{13824} \cdot \varepsilon^4 + \dots, \\ a_2^{nee} &= 4 - \frac{1}{12} \cdot \varepsilon^2 + \frac{5}{13824} \cdot \varepsilon^4 - \dots, \\ a_3^{np} &= 9 + \frac{1}{16} \cdot \varepsilon^2 + \frac{1}{64} \cdot \varepsilon^3 + \frac{13}{20480} \cdot \varepsilon^4 + \dots, \\ a_3^{nee} &= 9 + \frac{1}{16} \cdot \varepsilon^2 - \frac{1}{64} \cdot \varepsilon^3 + \frac{13}{20480} \cdot \varepsilon^4 - \dots \end{aligned} \quad (16)$$

С помощью формул (16) можно построить диаграмму устойчивости (смотри рисунок 4).

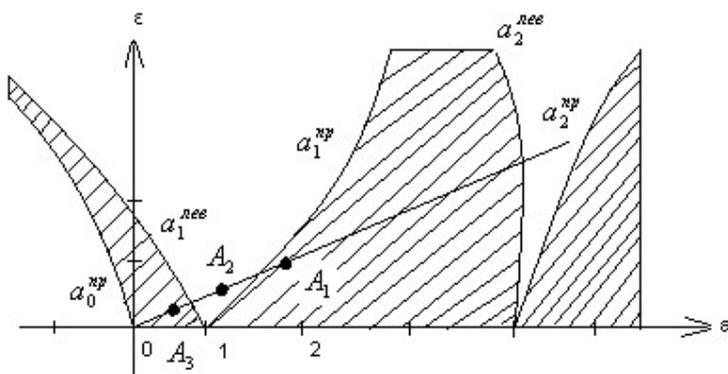


Рисунок 4 – Диаграмма устойчивости

В нашем случае  $a = 2\varepsilon$  и на диаграмме устойчивости всевозможные пары значений  $a, \varepsilon$  лежат на луче, который выходит из начала координат под углом  $\arctg(1/2)$  к оси. Поочередная подстановка значений  $A_1, A_2$  и  $A_3$  в выражения  $a$  и  $\varepsilon$  приводит к расположению точек, показанному на рисунке 4, то есть точки  $A_1$  и  $A_3$  соответствуют устойчивым, а точка  $A_2$  – неустойчивым решениям.

Итак, при стационарных колебаниях дизеля, установленного на нелинейные опоры, из трех возможных режимов движения:  $q_i = A_i \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)$ , где  $i = 1, 2, 3$ , устойчивы только первый и третий, а второй режим неустойчив (сколь угодно малые возмущения этого режима приводят движение системы к первому или третьему режиму).

Если постепенно увеличивать от нуля частоту  $\omega$ , то амплитуда увеличивается следуя ветви III. Если при некотором значении  $\omega = \omega_1$  система испытывает достаточно большое мгновенное возмущение, то происходит «срыв» амплитуды на ветвь I (см. рисунок 3). Если же возмущений не было, то амплитуда увеличивается следуя ветви III, до частоты  $\omega = \omega_2$ , при которой происходит срыв амплитуды на ветвь I (точки  $n'$  и  $n''$ , см. рисунок 3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бабаков, И.М. Теория колебаний / И.М. Бабаков. -М.: Наука, 1965.  
 2 Бурков, С.Н. Теоретическое исследование динамической устойчивости пневмогидравлических опор / С.Н. Бурков, А.М. Ефремов // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -Новосибирск, 2003. -Вып. 2.  
 3 Мак-Лахлан, Н.В. Теория и приложения функций Матъе / Н.В. Мак-Лахлан. -М.: Иностран. лит., 1953. -476 с.  
 КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *виброизолятор, нелинейные колебания, уравнение Матъе, устойчивость решения*  
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Бурков Сергей Николаевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАУ»  
 Ефремов Анатолий Матвеевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»*  
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 36, ФГОУ ВПО «НГАУ»  
 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

**НЕСМАЗЫВАЕМЫЕ МАНЖЕТНЫЕ УПЛОТНЕНИЯ С ЛЕПЕСТКОВЫМ ЭКСПАНДЕРОМ**

Омский институт водного транспорта филиал ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**И.Х. Карагусов**

**UNLUBRICATED FLANGED PACKING**  
 «Omsk Institute of Water Transport»  
 I.H. Karagusov

This article about construction of unlubricated flanged packing and of methodology of calculation geometrical-size of leafed expander, take into consideration requirements to size radial force. Also, we are describing of material properties of ferrule.

Изложена конструкция несмазываемого манжетного уплотнения с лепестковым экспандером и методика расчета геометрических размеров лепесткового экспандера, учитывающая требования к величине радиального усилия и физико-механические свойства материала манжеты.

В поршневых машинах криогенной и холодильной технике широко применяется манжетное уплотнение (рисунок 1), состоящее из манжеты 1, лепесткового экспандера 2, проставочного кольца 3 и других деталей.

В работе [1] описана конструкция манжетного уплотнения, учитывающая особенности работы машины и свойства антифрикционных материалов типа НАМИ – ФБМ, применяемых для изготовления манжеты.

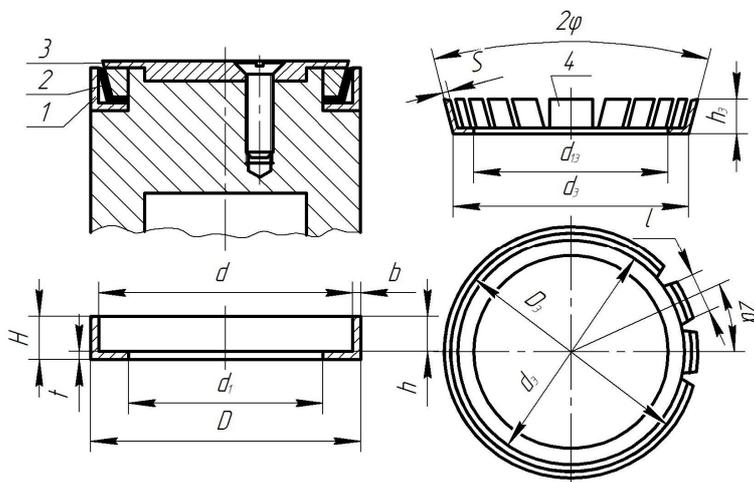


Рисунок 1 – Манжетное уплотнение

В статье предлагается методика расчета геометрических размеров лепесткового экспандера, учитывающая требования к величине радиального усилия и физико-механические свойства материала манжеты. Экспериментально установлено, что в уплотнениях, работающих без смазки, уплотнительные манжеты которых изготовлены из материалов типа НАМИ-ФБМ, экспандер должен обеспечивать радиальное давление на стенку цилиндра, равное 0,1-0,2 кгс/см<sup>2</sup>. Отступление от этого условия приводит к сокращению ресурса работы, возрастанию мощности трения и износа манжеты. Для уплотнительных диаметров от 20 до 80 мм радиальному давлению 0,1-0,3 кгс/см<sup>2</sup> соответствует увеличение диаметра уплотнительной кромки язычка манжеты на величину  $W = 0,1-0,3$  мм (допустимое перемещение кромки язычка манжеты) положена в основу расчета усилия экспандера, которое определяют из уравнения

$$Q = \frac{W \cdot Y \cdot \beta^3 (k_0 + 4k_1 \cdot k_3)}{k_1 k_2 - k_3 k_0} \pi d_{cp}, \text{ кгс/см}^2,$$

где  $Q$  – радиальное усилие экспандера, необходимое для разжима манжеты на величину  $W$ , мм;

$Y$  – цилиндрическая жесткость, кгс·см;

$$\beta = \sqrt{\frac{3(1-\mu^2)}{r_{cp}^2 \cdot b^2}}, \text{ 1/см};$$

$d_{cp}$  – средний диаметр манжеты, см;

$r_{cp}$  – средний радиус манжеты, см;

$b$  – толщина лепестка манжеты, см.

Цилиндрическая жесткость определяется из уравнения, данного в работе [2]

$$Y = \frac{E \cdot b^3}{12(1-\mu)},$$

где  $E$  – модуль упругости материала манжеты, кгс/см<sup>2</sup>;

$\mu$  – коэффициент Пуассона (0,4-0,5).

Геометрические размеры экспандера предложено рассчитывать по следующим уравнениям:

– ширина лепестка 4 экспандера

$$l = 0,6\sqrt{D}, \text{ мм};$$

– высота экспандера

$$h_э = h = (H - t), \text{ мм};$$

– диаметр фланца экспандера

$$d_э = (D - 2d - 1,5), \text{ мм};$$

– радиусгиба лепестков

$$R_э \geq 4s, \text{ мм};$$

– диаметр отверстия во фланце экспандера

$$d_{1э} = d_1, \text{ мм};$$

– диаметр по лепесткам экспандера

$$D_э = d_э + 2tg\varphi \cdot h_э, \text{ мм};$$

– уголгиба лепестков экспандера, для предварительного расчета равен  $\varphi = 18^\circ$ ;

– число лепестков экспандера

$$z = \frac{180}{\alpha}; \sin\alpha = \frac{l+1}{d};$$

– длина лепестков

$$L = \frac{h_э}{\cos\varphi}, \text{ мм}.$$

Для определения толщины лепесткового экспандера авторами выведено уравнение, которое учитывает особенности работы экспандера и физико-механические свойства материала

$$S = \sqrt[3]{\frac{A}{B + B\Delta\delta}}, \text{ мм},$$

где  $A = 4Q \cdot k'_W \cdot d_3^2 \cdot L^3 = 16W'_{\max} \cdot E \cdot L^3 = \ell \cdot E \cdot k'_W \cdot d_3^2$ .

Перемещение лепестка экспандера

$$\Delta\delta = \frac{D_3 - d}{2}, \text{ мм,}$$

где  $k'_W$  – коэффициент, зависящий от отношения  $d_3/d_{13}$  (таблица).

Таблица – Значения коэффициента  $k'_W$

$d_3/d_{13}$	1,250	1,500	2,000
$k'_W$	0,341	0,519	0,672

Эта формула справедлива только для экспандера с упругой заделкой, когда между торцами экспандера и упорного кольца есть гарантированный зазор  $W'_{\max}$ .

Расчетную толщину ленты следует сравнить с величиной, установленной стандартом на сортамент металла. Если расчетная толщина отличается от стандартной, подбирают ближайшую стандартную, а расчет повторяют с целью сохранения усилия  $Q$ , изменяя угол развала лепестков  $\varphi$  по уравнению

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{D_3 - d_3}{2h_3}; \quad D_3 = 2\Delta\delta + d, \text{ мм; } \Delta\delta = \frac{A - B \cdot s^3}{B \cdot s^3}, \text{ мм.}$$

Величину усилия экспандера проверяли в приспособлении, схема которого показана на рисунке 2. Экспандер 1 устанавливают на поршень 4 с торцовым зазором  $W'_{\max}$ ; на экспандер надевают пружинную цанговую втулку 2, внутренний диаметр которой равен диаметру  $d$  манжеты. Под действием экспандера диаметр втулки увеличивается, и это увеличение фиксирует индикатор часового типа 5.

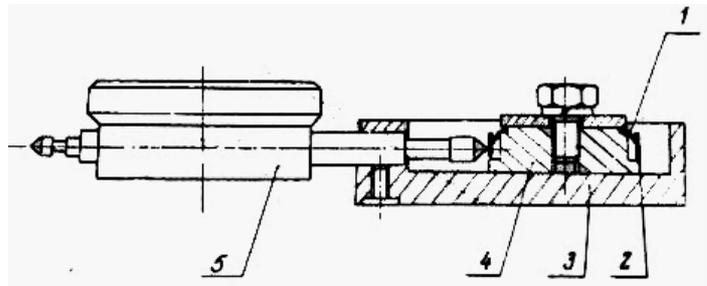


Рисунок 2 – Приспособление для замера радиального усилия экспандера: 1-экспандер; 2-цанговая втулка; 3-корпус; 4-поршень; 5-индикатор

Эксперименты показали, что расхождения между расчетным и замеренным усилием экспандера не превышает 10-15%.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бесшмазочные поршневые уплотнения для газовых холодильных машин / И.Х. Карагузов [и др.] // Кислородное и автогенное машиностроение. -М., 1965. -С. 10-11.

2 Расчет на прочность деталей машин: справ. пособие. -М.: Машиностроение, 1966. - 376 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: несмазываемые манжетные уплотнения, лепестковый экспандер, радиальное усилие, уплотнительная кромка

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Карагузов Иван Харитонович канд. техн. наук, профессор ОИВТ филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644043, г. Омск, ул. И.Алексеева, 4, ОИВТ филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## МЕХАНИЗМЫ ПРИВОДА ПОРШНЕВЫХ МАШИН

Омский институт водного транспорта филиал ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

И.Х. Карагузов

POWER MECHANISM OF RECIPROCATORS  
«Omsk Institute of Water Transport»  
I.H. Karaguzov

This article about results of power mechanism of reciprocators. We are reveal cutting energy consumption, downsizing, and decrease of weight, by results of research.

Изложены результаты разработки механизмов привода поршневых машин. В результате проведенных исследований установлено снижение потребления энергии, уменьшение габаритов и веса.

Разработана конструкция привода, которая значительно упрощает механизм движения поршневой машины, снижает затраты, сокращает число применяемых деталей.

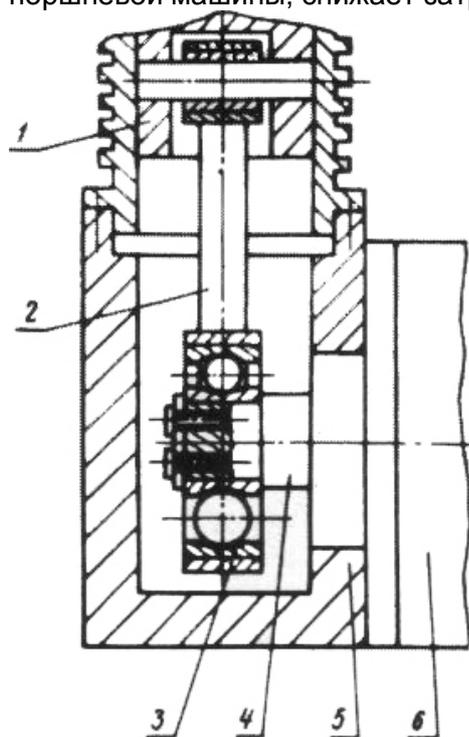


Рисунок 1 – Механизм движения поршневой машины: 1-поршень; 2-головка шатуна; 3-подшипники; 4-вал; 5-корпус; 6-электродвигатель

Особенностью предлагаемого привода является подшипник с шариками различных диаметров, которые заменяют коленчатый вал и редуктор. Механизм движения поршневой машины с применением эксцентрикового подшипника показан на рисунке 1.

На вал электродвигателя 4 по плотной посадке установлен подшипник 3, наружная обойма которого сопрягается с головкой шатуна 2, связанного с поршнем 1. Электродвигатель 6 крепится фланцем к корпусу машины 5.

Вращение вала электродвигателя и внутренней обоймы подшипника передается шарикам, которые, вращаясь вокруг своей оси, перекачиваются по обоймам. Так как шарики разных диаметров, то наружная обойма и связанный с ней шатун совершают возвратно-поступательное движение. Ход поршня определяется разностью диаметров большего и меньшего шариков

$$S = d_{\max} - d_{\min}, \text{ мм},$$

где  $S$  – ход поршня, мм;

$d_{\max}$  – диаметр большого шарика, мм;

$d_{\min}$  – диаметр меньшего шарика, мм.

Нагрузка на подшипник определяется контактной прочностью большого шарика, так как максимум нагрузки в поршневой машине (компрессоре) приходится на верхнюю мертвую точку, то есть на шарик большого диаметра. Шарик перемещается вокруг оси вращения вала со скоростью  $V_0$  в 2 раза меньше, чем скорость

вращения вала электродвигателя  $V_B$  (рисунок 2).

$$V_B = 2V_0 \text{ или } \frac{\pi \cdot d_B \cdot n_B}{60} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d_0 \cdot n_0}{60},$$

где  $d_B$  – диаметр впадины внутренней обоймы подшипника;

$d_0$  – диаметр центров шариков;

$n_0$  – число оборотов сепаратора;

$n_B$  – число оборотов вала электродвигателя.

Передаточное число  $i$  подшипник можно определить по формуле при  $n = 1$

$$i = 2 \cdot \frac{d_0}{d_B}.$$

При проектировании подшипника угол подъема наружного кольца не должен превышать  $6^\circ 42'$ , то есть должно соблюдаться неравенство

$$\frac{S}{\pi d_H} \leq \text{tg } 6^\circ 42',$$

где  $d_H$  – диаметр канавки наружного кольца подшипника.

На рисунке 3 приведена схема для определения угла подъема кулачка подшипника.

Применение эксцентрикового подшипника в приводах поршневых машин позволяет установить более быстроходные электродвигатели без редуктора и тем самым уменьшить вес и размеры машин.

Конструктивное совершенствование малых мотор-компрессоров является важнейшим направлением работ по повышению их долговечности. Эти работы непрерывно сопутствуют процессу разработки, серийного освоения и выпуска машин данного класса в нашей стране и за рубежом.

Преобразование вращательного движения вала компрессора в возвратно-поступательное движение поршня возможно с помощью специальных подшипников с тела-

ми качения различных диаметров, находящимися между эксцентрично расположенными наружным и внутренним кольцами подшипника.

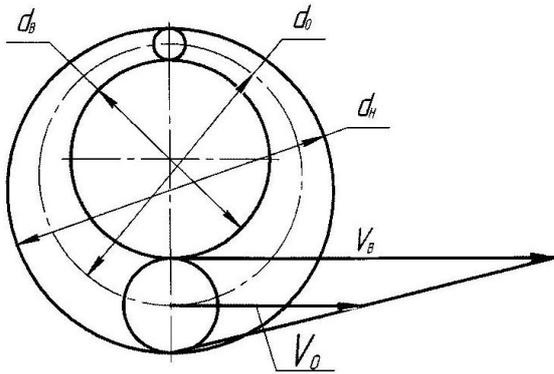


Рисунок 2 – Схема эксцентрикового подшипника

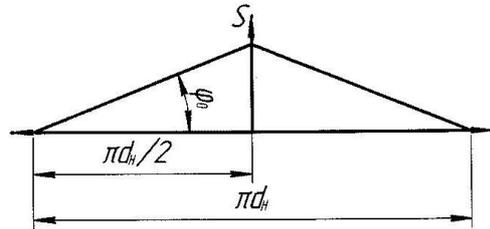


Рисунок 3 – Схема для определения угла подъема наружного кольца подшипника

Благодаря устойчивой фрикционной связи существует возможность снимать нагрузку с её наружной обоймы в виде сосредоточенной силы. Для преобразования вращательного движения вала компрессора в возвратно-поступательное движение поршня внутренняя обойма подшипника должна быть неподвижно закреплена на валу электродвигателя, а наружная должна закрепляться в головке шатуна. При вращении вала тела качения, перекачиваясь по внешнему диаметру внутреннего кольца, смещают эксцентрично установленную наружную обойму.

Ход наружной обоймы, а соответственно, и ход поршня равен удвоенной величине эксцентриситета или максимальной разнице диаметров тел качения (рисунок 4 и 5).

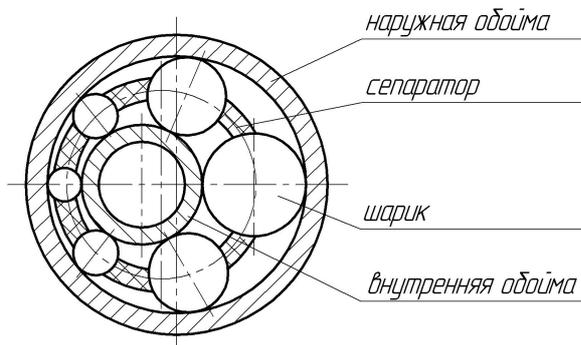


Рисунок 4 – Схема подшипника мотор-компрессора

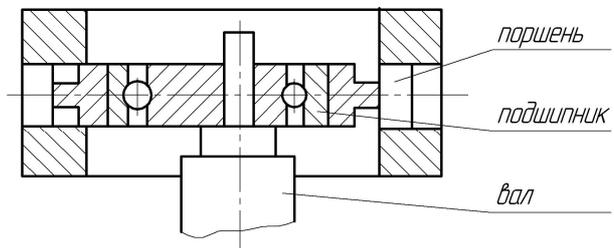


Рисунок 5 – Схема головки мотор-компрессора

Силовой анализ позволяет сделать выводы о целесообразности использования эксцентриковых подшипников с передаточным отношением в диапазоне 2,2...2,8 и с отношением диаметров ведущего шарика от 0,1 до 0,4 части диаметра канавки внутреннего кольца.

В результате проведенной научно-исследовательской и конструкторской работы был разработан и изготовлен опытный образец мотор-компрессора бытового холодильника с новым механизмом движения (рисунок 6).

В результате проведенной работы по подбору несмазываемых материалов для сепараторов подшипников качения с шариками разных диаметров был рекомендован материал НАМИ-ФБМ. Этот же материал показал лучшие результаты по износу и коэффициента трения в направляющих поршня и поршневых уплотнениях.

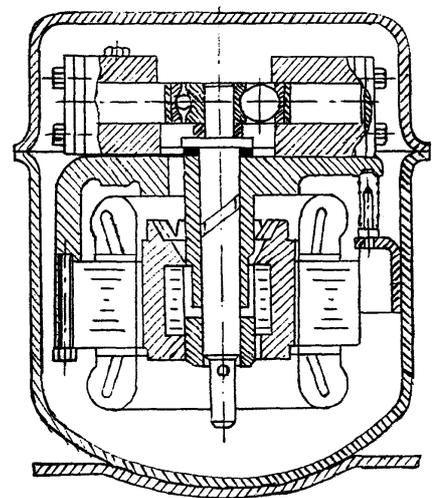


Рисунок 6 – Двухцилиндровый мотор-компрессор

Испытание нового мотор-компрессора показали, что он потребляет меньше электрической энергии, на 12-15%, чем классический мотор-компрессор с кривошипно-шатунным механизмом.

На конструкцию двухцилиндрового мотор-компрессора бытового холодильника получен патент [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 А.с. 314048 СССР, МПК F25 В 9/00, F 16 Н 21/1G. Механизм привода газовой холодильной поршневой машины / И.Х. Карагузов, В.П. Тепляков, Р.В. Карасташевский. -1971. - 2 с.: ил.

2 А.с. 1296765 СССР, А1 F 16 Н 23/00. Механизм для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное / И.Х. Карагузов, В.И. Карагузов. -1985. -2 с.: ил.

3 Пат. 2067733 Российская Федерация, МПК С 16 F 25 В 1/02. Двухцилиндровый компрессор бытового холодильника / И.Х. Карагузов, А.С. Першин. -1996. -3 с.: ил.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** механизм движения, поршневая машина, передаточное число, редуктор, подшипник с разными шариками

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Карагузов Иван Харитонович канд. техн. наук, профессор ОИВТ филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 644043, г. Омск, ул. И.Алексеева, 4, ОИВТ филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

### **ОБОБЩЕННЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

ГОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет»  
ГОУ ВПО «Ангарская государственная техническая академия»

**В.С. Степанов, Т.Б. Степанова**

#### **THE GENERALIZED INDICATOR OF NEGATIVE INFLUENCE OF TECHNICAL OBJECTS ON ENVIRONMENT**

«Irkutsk State Technical University»

«Angarsk state technical academy»

V.S. Stepanov, T.B. Stepanova

The indicator of total thermodynamic influence on environment of technical objects is offered. Procedure of its definition for all kinds of pollution (chemical, thermal, concentration) in all spheres of environment is described.

Предложен показатель суммарного термодинамического воздействия на окружающую среду технических объектов. Описана процедура его определения для всех видов загрязнения (химическое, тепловое, концентрационное) во все сферы окружающей среды.

В настоящее время вопросы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов справедливо рассматриваются как глобальные проблемы перво-степенной важности. Вместе с тем, данные литературы свидетельствуют о недостаточности разработок, формирующих теоретические основы природоохранной деятельности и рационального использования природных ресурсов.

Существующие в настоящее время методики для оценки вредного воздействия деятельности человека на окружающую среду имеют ряд общих черт, которые можно рассматривать как недостатки:

1) отдельно исследуется воздействие на атмосферу, гидросферу, верхние слои литосферы (почву);

2) при исследовании воздействия на каждую из перечисленных сред определяются выбросы всех химических ингредиентов по отдельности;

3) тепловое загрязнение, как правило, учитывается только применительно к гидросфере.

В то же время очень важно иметь некоторый показатель суммарного негативного воздействия на окружающую среду технологий, предприятий, отраслей, промышленности в целом. Уже давно некоторыми учеными высказывается идея о том, что таким показателем суммарного воздействия на окружающую среду может быть эксергия выбрасываемых в нее потоков энергии и вещества [1-4]. Применение эксергетического подхода к решению экологических задач базируется на том, что эксергия является единственным среди физических понятий, в определение которого входит окружающая среда и её параметры.

Эксергия обладает свойством аддитивности, поэтому можно суммировать эксергии всех

материальных веществ  $E_x$  и тепловых потоков  $E_q$ , выбрасываемых во все компоненты окружающей среды – атмосферу, гидросферу, литосферу. Такой показатель достаточно просто определить. Для большого числа неорганических и органических веществ, используемых и производимых в промышленности, рассчитаны величины химической эксергии [5]. Рассчитать тепловую эксергию не составляет большого труда, если известны параметры сбрасываемого теплового потока.

Тем не менее попытки использовать эксергетический метод и его понятия для оценки негативного воздействия технических объектов на ОС, которые предпринимались неоднократно целым рядом специалистов [1-4], оказались в целом неудачными. Причиной этого является то обстоятельство, что в научном сообществе до сих пор нет единой трактовки понятия химической эксергии вещества [5]. Например, у Я. Шаргута величина химической эксергии включает так называемую нулевую составляющую  $e_0$  [6]. В методиках Степанова-Озолинга, Ямаучи-Фуэки и других авторов величина химической эксергии её не учитывает, поскольку природа этой составляющей по сути не является химической.

Другой причиной неудачи использования эксергетического метода для решения экологических задач, на наш взгляд, является и то, что не удалось с использованием понятия эксергии оценить негативное воздействие на ОС химически нейтральных (обесцененных) веществ, в частности парниковых газов.

Нами предлагается в качестве показателя негативного влияния выбросов такого рода использовать минимальную работу (эксергию), необходимую для снижения концентрации рассматриваемого ингредиента в выбросах технического объекта до значения допустимой концентрации, принятой в том или ином компоненте окружающей среды. Как известно, эта величина при соответствующих допущениях может быть определена по выражению

$$E_k = nRT_0 \ln \left( \frac{z_{ie}}{z_i^*} \right), \quad (1)$$

где  $R$  – газовая постоянная, Дж/моль·К;

$T_0$  – температура окружающей среды, К;

$z_{ie}$  – мольная концентрация компонента в выбросах;

$z_i^*$  – допустимая (нормативная) мольная концентрация ингредиента в компонентах окружающей среды (атмосфере, гидросфере);

$n$  – число молей компонента в выбросах.

Таким образом, мы предлагаем выбросы эксергии в окружающую среду определять как сумму трёх составляющих

$$E_{сум} = \sum E_q + \sum E_x + \sum E_k. \quad (2)$$

Такой подход позволяет учитывать негативное воздействие любого технического объекта, их совокупности в конкретном регионе (населенном пункте) как на основе модели локальной окружающей среды, так и на модели глобальной ОС. Значения суммарной эксергии, установленные на базе первой модели, могут использоваться при принятии решений на региональном уровне. Значения эксергии, установленные на основе глобальной модели ОС, могут служить информацией для получения показателя экологического состояния нашей планеты в целом.

Важно подчеркнуть, что вопрос об экологичности технического объекта напрямую связан с его термодинамической эффективностью: чем выше его КПД, то есть чем больше величина полезно используемой энергии всех форм, тем меньше выбросы эксергии и меньше негативное воздействие данного объекта на окружающую среду. Таким образом, показатели для этой оценки могут быть получены параллельно при решении наиболее часто выполняемых исследований по оценке энергетической эффективности технологий, выявлению резервов энергосбережения и т.п.

Нами разработан метод совместного исследования энергетической эффективности и негативного влияния на окружающую среду технических объектов. Введение в практику понятий эксергии, химической энергии и эксергии веществ позволило нам разработать методику универсального энергетического баланса, пригодного для анализа любых процессов и построенного на базе 1-го и 2-го начал термодинамики. Он получил название полного энергетического баланса, поскольку позволяет учитывать все виды энергии, включая химическую энергию топлива, сырья и материалов в приходной части, а также продуктов и отходов про-

цесса – в расходной [7]. Для учёта различий в качестве разных форм энергии используется предложение З.Ранта об их представлении в виде суммы двух составляющих – работоспособной (эксергии) и неспособной совершать работу (анергии). Это позволило записать уравнение полного энергетического баланса в виде

$$\begin{aligned} & (\sum E_{\text{эл}})' + (\sum E_{\text{м}})' + \left[ \sum_i (E_{x_i} + B_{x_i}) \right]' + \left[ \sum_i (E_{q_i} + B_{q_i}) \right]' = \\ & = (\sum E_{\text{эл}})'' + (\sum E_{\text{м}})'' + \left[ \sum_i (E_{x_i} + B_{x_i}) \right]'' + \left[ \sum_i (E_{q_i} + B_{q_i}) \right]'' \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\sum E_{\text{эл}}$ ,  $\sum E_{\text{м}}$  – соответственно электрическая и механическая энергия (тождественно эксергия);

$\sum_i I_{x_i} = \sum_i (E_{x_i} + B_{x_i})$  – сумма величин химической энергии всех материальных потоков, поступающих в процесс и выходящих из него (сырья, материалов, топлива, продуктов и отходов);

$\sum_i I_{q_i} = \sum_i (E_{q_i} + B_{q_i})$  – тепловая энтальпия (теплота), вносимая в систему и отводимая из неё с потоком полезных продуктов и отходов, излучением или теплопередачей. Одним штрихом обозначены статьи приходной части баланса, двумя – расходной.

Расчету полного энергобаланса обязательно предшествует работа по установлению границ исследуемой термодинамической системы и составлению ее материального баланса.

Ниже показана процедура расчета предлагаемых показателей энергоэффективности и экологичности технического объекта и использование их для сравнительного анализа на примере паровых котлов одинаковой производительности, работающих на угле и природном газе.

Результаты этих расчетов приведены в таблицах 1 и 2. Полные энергобалансы рассчитаны на производительность паровых котлов 230 т/ч ( $t_{\text{мн}} = 510 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $p_n = 10,8 \text{ МПа}$ ). Приход энергии (эксергии) с топливом определялся на основе удельных значений химической энергии и эксергии топлив, приведенных в [8]. Каждый энергетический поток характеризуется эксергией (величины в скобках). Величины материальных потоков на входе в объект и на выходе из него также приведены в таблицах 1 и 2. Звездочкой отмечены полезные продукты процесса.

*Таблица 1 – Полный энергетический баланс парового котла (топливо-уголь)*

Статья баланса	Масса, т	Энергия (эксергия), ГДж/ч	%
<i>Приход</i>			
Топливо (уголь)	35,70	720 (710)	100
Воздух организованный	281,90	0,0	0,0
Присосы воздуха	64,14	0,0	0,0
Итого:	381,74	720 (710)	100
<i>Расход</i>			
Перегретый пар*	(230)	572 (290)	79,44
Потери с отходящими газами (физическое тепло)	376,564	119,5 (36,24)	16,60
Потери от химического недожога	(1,713)	18,7 (13,51)	2,60
Потери с золой	5,176	6,1 (3,56)	0,85
Потери тепла в окружающую среду	–	2,7 (0,44)	0,51
Потери эксергии от необратимости в том числе:			
– горения	–	– (203,45)	–
– теплообмена	–	– (162,8)	–
Итого:	381,74	720	100

## ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Таблица 2 – Полный энергетический баланс парового котла (топливо-природный газ)

Статья баланса	Масса, т	Энергия (эксергия), ГДж/ч	%
<i>Приход</i>			
Топливо (природный газ)	13,780	696 (641)	100
Воздух организованный	257,32	0,0	0,0
Присосы воздуха	65,87	0,0	0,0
Итого:	336,97	696 (641)	100
<i>Расход</i>			
Перегретый пар*	(230)	572 (290)	82,2
Потери с отходящими газами (физическое тепло)	336,97	109,86 (32,48)	15,8
Потери от химического недожога	(0,878)	11,1 (10,1)	1,6
Потери тепла в окружающую среду	–	3,04 (0,31)	0,4
Потери эксергии от необратимости в том числе:			
– горения	–	– (152,1)	–
– теплообмена	–	– (153,7)	–
Итого:	336,97	696	100

Для оценки негативного воздействия котельной установки на окружающую среду необходимо знать объем и компонентный состав выбросов продуктов сгорания топлива в атмосферу. Эти данные для рассматриваемых объектов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Выбросы газов в атмосферу

Компонент	При сжигании угля			При сжигании природного газа		
	на 1 кг, м <sup>3</sup>	в час, тыс. м <sup>3</sup>	% объёмн.	на 1 м <sup>3</sup> , м <sup>3</sup>	в час, тыс. м <sup>3</sup>	% объёмн.
O <sub>2</sub>	0,419	14,958	6,06	0,77	13,514	5,0
N <sub>2</sub>	5,974	213,272	73,90	11,418	200,386	74,1
CO <sub>2</sub>	0,917	32,736	11,34	1,06	18,603	6,88
CO	0,030	1,070	0,37	0,05	0,878	0,32
H <sub>2</sub> O	0,669	23,883	8,28	2,11	37,03	13,70
SO <sub>2</sub>	0,004	0,143	0,05	–	–	–
Итого:	8,084	286,062	100	15,408	270,41	100

На основе данных, полученных при расчёте полных энергетических балансов, можно оценить термодинамическую эффективность рассмотренных котлов по величине их энергетического и эксергетического КПД. Они соответственно составили:

– для котла на угле

$$\eta_{эн} = \frac{I_{пп}}{I_{хт}} = \frac{572}{720} = 0,794; \eta_{экс} = \frac{E_{пп}}{E_{хт}} = \frac{290}{710} = 0,408;$$

– для котла на природном газе

$$\eta_{эн} = \frac{I_{пп}}{I_{хт}} = \frac{572}{696} = 0,822; \eta_{экс} = \frac{E_{пп}}{E_{хт}} = \frac{290}{641} = 0,452.$$

Эти величины показывают, как и следовало ожидать, что термодинамическая эффективность котла на угле ниже, чем на природном газе.

Данные, приведенные в таблицах 1-3 позволяют также оценить экологичность этих объектов по предлагаемому в данной статье показателю – суммарному выбросу эксергии в окружающую среду в целом и отдельные её компоненты. Результаты расчёта этих показателей для рассмотренных объектов приведены в таблице 4. При её составлении величины химической и тепловой эксергии, сбрасываемой в атмосферу и литосферу, взяты непосредственно из полных энергобалансов рассмотренных объектов. Значения работы (эксергии), необходимой для снижения концентрации ингредиента, рассчитывались по выражению (1) с использованием данных таблицы 3. Расчёт проводился при условии доведения мольной концентрации CO<sub>2</sub> в отходящих газах до концентрации в атмосфере, равной  $z_i^* = 0,0003$ , а при определении  $E_k$  для компонента SO<sub>2</sub> принималось равной  $z_i^* = 0,5$  мг/м<sup>3</sup> в соответствии с ПДК.

## ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Таблица 4 – Сброс энергии/эксергии в окружающую среду, ГДж/ч

Компоненты окружающей среды	Химическая энергия/эксергия		Тепловая энергия/эксергия		$E_k$	$E_{сум}$
	$I_x$	$E_x$	$I_q$	$E_q$		
При сжигании угля						
Атмосфера	18,7	13,51	113,5	36,24	22,456	72,206
Литосфера	5,2	3,22	0,9	0,34	–	3,56
Сброс эксергии, всего:		16,73		36,58	22,456	75,766
При сжигании природного газа						
Атмосфера	11,1	10,1	109,86	32,43	11,82	54,4
Литосфера	–	–	–	–	–	–
Сброс эксергии, всего:		10,1		32,43	11,82	54,4

Из таблицы 4 видно, что суммарный сброс эксергии в окружающую среду у котла, работающего на угле, существенно (примерно на 1/3) выше, чем у котла на природном газе.

Использование же полных энергетических балансов для анализа энергетического совершенства процессов и выявления резервов энергосбережения было многократно апробировано на большом числе крупных предприятий и показало удобство и эффективность метода.

### Выводы:

1 В настоящее время в отечественной и мировой практике нет общепринятого показателя для оценки кумулятивного негативного воздействия технических объектов на окружающую среду в целом, включая атмосферу, гидросферу и верхние слои литосферы.

2 Такие показатели, как эксергия и анергия, химическая энергия и эксергия веществ, предложенные ещё в середине прошлого века, позволяют осуществить строгий термодинамический анализ энергоэффективности любых технических объектов на основе их полного энергетического баланса и численно оценить негативное воздействие технического объекта на окружающую среду. В качестве обобщённого показателя такого воздействия нами предложена величина сброса эксергии (химической, тепловой, концентрационной) как в отдельные компоненты окружающей среды, так и ОС в целом.

3 Для широкого практического использования предложенного показателя и метода его определения необходимо лишь узаконить широко используемые в научных исследованиях понятия: эксергия и анергия, химическая энергия и эксергия вещества.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шаргут, Я. Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела. -М.: Энергия, 1968. -279 с.
- 2 Бродянский, В.М. Эксергетический метод и его приложение / В.М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. -М.: Энергоатомиздат, 1988. -288 с.
- 3 Эксергетические расчеты технических систем: справ. пособие / В.М. Бродянский [и др.] ; под ред. А.А. Долинского, В.М. Бродянского. -Киев: Наук. думка, 1991. -360 с.
- 4 Бояджиив, Д. Дълбочинноста на преработване на природните ресурси и степента на отпадъчност на технологиите, разгледани в светлинате на ексергийно-екологичния анализ // Изв. Внеш. ин-т нар. стоп. -Варна, 1983. -С. 63-72.
- 5 Степанов, В.С. Химическая энергия и эксергия веществ / В.С. Степанов. -Новосибирск: Наука, 1990. -163 с.
- 6 Szargut, J. Exergy analysis of thermal, chemical and metallurgical processes / J. Szargut, D.R. Morris, F.R. Steward. -N.Y.: Hemisphere, 1988.
- 7 Степанов, В.С. Анализ энергетического совершенства технологических процессов / В.С. Степанов. -Новосибирск: Наука, 1984. -273 с.
- 8 Степанов, В.С. Эффективность использования энергии / В.С. Степанов, Т.Б. Степанова. -Новосибирск: Наука, 1994. -257 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *технические объекты, воздействие на окружающую среду*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Степанов Владимир Сергеевич, доктор технических наук, профессор ГОУ ВПО «Иркутский ГТУ»*

*Степанова Татьяна Борисовна, доктор технических наук, профессор ГОУ ВПО «Ангарская ГТА»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, ГОУ ВПО «Иркутский ГТУ»  
665835, г. Ангарск, ул. Чайковского, 60, ГОУ ВПО «Ангарская ГТА»*

## ПРОБЛЕМНЫЙ АНАЛИЗ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ НА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

**М.В. Сидоров**

THE PROBLEM ANALYSIS NOT DESTROYING THE CONTROL ON THE EAST-SIBERIAN RAILWAY  
«Irkutsk State University of Railway Engineering»  
M.V. Sidorov

Work of not destroying control on an example travelling defektoskopii is analysed. The basic problems influencing quality of the control of a railway way are allocated and ways of their decision are offered.

Проанализирована работа неразрушающего контроля на примере путевой службы дефектоскопии. Выделены основные проблемы влияющие на качество контроля железнодорожного пути и предложены пути их решения.

Важная роль в обеспечении безопасности движения поездов отводится неразрушающему контролю ответственных технических объектов железнодорожного транспорта, который проводился с применением около 12 тыс. дефектоскопов 37 типов и модификаций: в путевом хозяйстве – около 4 тыс. ед. ультразвуковых дефектоскопов сплошного контроля, около 800 дефектоскопов вторичного контроля и 1000 дефектоскопов для проверки сварных стыков, в локомотивных депо – 2 тыс. ед., в вагонных депо – более 4,5 тыс. ед.

Система неразрушающего контроля элементов пути базируется в основном на ультразвуковых и магнитных средствах ручного и автоматизированного контроля и включает в себя контроль рельсов и стрелочных переводов в пути, при их восстановлении и сварке на рельсосварочных предприятиях [1].

В среднем за год средствами дефектоскопии пути было проверено около 4,1 млн. км пути, 2,6 млн. стрелочных переводов, 3,2 млн. шт. сварных стыков по всей сети дорог.

Несмотря на большое число выявленных дефектов, эффективность неразрушающего контроля рельсов, особенно автоматизированными средствами (автомотрисами и вагонами-дефектоскопами) остается неудовлетворительной.

Значительное число средств неразрушающего контроля устарело и требует замены. Многие средства рассчитаны на ручной контроль, то есть достоверность определяется квалификацией и навыками оператора-дефектоскописта.

Чтобы более детально подойти к проблемам неразрушающего контроля, разберем работу дефектоскопных средств за январь 2009 года на Восточно-Сибирской железной дороге.

В январе месяце текущего года на дороге находилось в работе 208 шт. рельсовых дефектоскопов, в том числе [2]:

Сплошного контроля рельсов типа: Поиск-10Э – 2 шт., Авикон-01 – 19 шт., Авикон-11 – 11 шт., РДМ-2 – 97 шт., АДС – 02 – 14 шт., РДМ-22 – 26 шт.

Вторичного контроля: РДМ-1 – 12 шт., РДМ-1М1 – 15 шт., Пеленг – 2 шт., Авикон 02Р – 2 шт., АКР-1224 – 1 шт., РДМ-3-1 шт.

Средствами первичного контроля проверено 14982 стрелочных переводов, 16157 км рельсов пути при плане 16120 км. План проверки рельсов съёмными дефектоскопами выполнен на 100%.

Кроме этого в работе находилось 4 вагона-дефектоскопа, которыми проверено 7773 км при плане 7205 км. План проверки выполнен на 107,1% в связи с дополнительными проездами по участкам после прохода подвижных составов с ползунами. Выявлен 31 острodefектный рельс, эффективность работы 4 ОДР на 1000 км. (по сети 2,7 ОДР на 1000 км).

В январе месяце в работе находилось три автотрисы АДЭ-1 № 21, 29, 30 которыми проверено 3047 км при плане 3047 км, обнаружено 17 ОДР, эффективность 5,58 ОДР на 1000 км (по сети 2,58 ОДР на 1000 км).

Всего за январь 2009 года с учетом съёмных дефектоскопов было выявлено 315 ОДР. Дефектоскопами с регистраторами при плане 11256,7 км проверено 10895,9 км, расшифровано 10697,6 км, из-за поломки регистраторов и сбоя программного обеспечения план проверки выполнен на 98,18%. Проверка главного хода дефектоскопами с регистраторами выполнена на 100%. Средний выход ОДР на 1000 км пути в месяц по дороге составляет

10,3 шт.

В январе месяце на дороге допущен один излом рельса (2008 – 1 шт.). Излом явился результатом неудовлетворительного содержания пути и пропуска дефекта операторами.

При проведении проверок цехов дефектоскопии выявлены следующие замечания [2]:

– При перешифровке файлов прохода дефектоскопов с регистраторами выявлено, что время работы на линии не соответствует выданному предупреждению.

– Расшифровщики дефектограмм отражают на графике и в журнале расшифровки дефектограмм не проверенные участки пути. Но в нарушении указаний №ВС-10040 от 06.10.05 г., №619р от 04.05.05 г., №245 от 04.12.06 г. участки пути, не записанные на регистратор, или записанные с неудовлетворительным качеством записи, к перепроверке в 2-х суточный срок не планируются, а проверяются при графиковых проверках.

– В январе месяце из-за занятости путей подвижным составом нарушена периодичность проверки приемоотправочных путей.

– Согласно журнала смены ОДР не всегда производится подбор снятого и уложенного рельсов по пропущенному тоннажу.

– Допускаются случаи длительной замены острodefектных рельсов.

– Операторами нарушается технология контроля рельсов. Допускается контроль рельсов со скоростью свыше 4 км/ч, при максимально допустимой 4 км/ч.

– Не выполняется приказ №4Ц от 04.02.06 г. п.1.11 – не допускать к работе на дефектоскопах нового поколения (Авикон-01, РДМ-2 и т.д.) операторов с разрядами ниже 6-го.

– В нарушения указания №619р от 04.05.05 г. п.4.3 в декабре не выполнена проверка наладчиком дистанции пути всех дефектоскопов на линии.

– Из-за не своевременной перекладки рельсов в кривых участках, в пути находятся рельсы с боковым износом 15 мм и более.

– Не выполняются приказ №4Ц от 04.02.02 г. п.1.6.4 и указание службы пути №1811/167, из пути не изъяты дефектные рельсы с отслоением и выкрашиванием металла на поверхности катания головки рельса протяженностью более 70 мм.

– Не в полном объеме выполняется указание №1318 от 10.03.05 г. Об организации контроля за работой дефектоскопных тележек по сообщениям машинистов.

– В дистанции пути не на должном уровне организована работа по снижению дефектности рельсов. Адресный план замены дефектных рельсов в дистанции имеется, но его выполнение не контролируется.

– Штат участка не укомплектован обученными операторами.

– В журнале учета обнаружения и замены ОДР ф.ПУ-2а не всегда заполняется пропущенный тоннаж уложенного рельса, время замены ОДР, номер предупреждения на ограничение скорости, (устранено при проверке).

– В журнале замены дефектных рельсов ф.ПУ-2а заполнены не все графы – характеристика дефекта, пропущенный тоннаж снятого рельса, (устранено при проверке).

– Не удовлетворительно организована работа по устранению замечаний, выявленных общественными инспекторами цеха дефектоскопии.

Исходя из выше перечисленных замечаний по работе цехов дефектоскопии, становится понятным, почему работу неразрушающего контроля в основном считают неудовлетворительной.

Исходя из замечаний по работе цехов дефектоскопии можно выделить три основные проблемы неразрушающего контроля на ВСЖД:

1 Низкий уровень подготовки обслуживающего персонала.

2 Использование морально устаревшего и максимально изношенного оборудования.

3 Несоблюдение правил и технологии ультразвукового контроля.

Необходимо, прежде всего, для улучшения качества проведения дефектоскопирования пути устранить все замечания по работе цехов дефектоскопии, для этого необходимо в полной мере подойти к организации труда непосредственно на местах, проводить постоянные учебные тренинги, повышение квалификации. Повышать заинтересованность операторов, дефектоскопистов, расшифровщиков путем стимулирования труда различными премиями, надбавками за добросовестный труд. Большое внимание также стоит уделить к привлечению высококвалифицированных специалистов в области неразрушающего контроля, чтобы использовать накопленные ими знания и опыт улучшения организации работ на местах.

Но все эти меры будут неполными, если парк оборудования останется на уровне ниже удовлетворительного. Многие приборы ремонтируются не то что по несколько раз в год, до-

ходит и до четырех – шести раз, а это соответственно простои цехов, материальные затраты на ремонт, доставку в ремонт с ремонта, трудоемкость ремонтных организаций и т.д. Поэтому особое внимание стоит уделить модернизации парка оборудования применяемого для дефектоскопирования пути на ВСЖД. Увеличить использование современных автоматизированных комплексов по поиску и обнаружению дефектов, что позволит улучшить качество и сократить время контроля, следствием чего будет являться уменьшение занятости основных путей дефектоскопными средствами.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Марков, А.А. Ультразвуковая дефектоскопия рельсов / А.А. Марков, Д.А. Шпагин. - СПб.: Образование-Культура, 2005. -230 с.

2 Отчет по работе цехов дефектоскопии на ВСЖД за январь 2009 г.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** неразрушающий контроль, дефектоскоп

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Сидоров Михаил Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

**МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ**

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

**М.В. Сидоров**

**MODELLING IN PROBLEMS OF THE ULTRASONIC CONTROL**

«Irkutsk State University of Railway Engineering»

M.V. Sidorov

Results of probe of characteristics of dispersion from defect of section of two environments lying near to border are conducted. The graphic decision on the basis of drawing up of model of an absent-minded field is presented.

Проведены результаты исследования характеристик рассеяния от дефекта лежащего вблизи границы раздела двух сред. Представлено графическое решение на основе составления модели рассеянного поля.

Обеспечение высокого и стабильного качества промышленной продукции является одной из основных проблем. Одной из главных причин, снижающих качество продукции, являются скрытые дефекты. Большая часть отказов изделий в начальный период их эксплуатации и на более поздних этапах связана с проявлением скрытых дефектов производства

Известно, что фундаментальным, объективным свойством любых неоднородностей твердых сред является их способность оказываться препятствием на пути распространения упругих волн. При решении задачи о взаимодействии упругих волн с характерными для структуры материала неоднородностями, имеющими естественное происхождение, в целях применения в области неразрушающего контроля, широкое распространение нашел ряд моделей в виде объектов преимущественно простых геометрических форм типа: диск, цилиндр, сфера [1].

Особый интерес представляют диаграммы рассеяния, определяющее звуковое поле, рассеянное на упругом цилиндре, расположенного вблизи поверхности упругого полупространства, в связи со значительным влиянием последнего на картину рассеянного поля.

Полное звуковое поле в верхнем полупространстве удовлетворяет уравнению типа интегрального уравнения Гельмгольца [4, 5]

$$p(r_1) = -k\rho c Q G(r_1, r_0) + \int_{S=S_p+S_{cyl}} \left[ p(r_2) \frac{\partial G(r_1, r_2)}{\partial n_2} - \frac{\partial p(r_2)}{\partial n_2} G(r_1, r_2) \right] dS. \quad (1)$$

где  $S$  – поверхность интегрирования, состоящая из поверхности цилиндра и поверхности полупространства.

Индекс 2 указывает, что дифференцирование выполняется по нормали в точке с координатой  $r_2$ , причем в интеграле по поверхности  $S_{cyl}$  точка  $r_2$  находится на поверхности цилиндра, а в интеграле по поверхности  $S_p$  точка  $r_2$  находится на поверхности полупространства. В качестве функции  $G(r_1, r_0)$  может быть выбрана любая функция Грина дифференциального уравнения Гельмгольца. Для того чтобы исключить интегрирование по бесконечной

поверхности, выберем функцию Грина для верхнего полупространства, удовлетворяющую граничным условиям на поверхности [2, 4]

$$G(r_1, r_2) = \frac{i}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \exp[iku(x_1 - x_2)] \cdot \left\{ \exp(ik\gamma|y_1 - y_2|) + A'_p \exp[ik\gamma(y_1 + y_2)] \right\} \frac{du}{\gamma}, \quad (2)$$

где  $\gamma = \sqrt{1 - u^2}$ ;  $A'_p = \exp(i2kb\gamma)A_p$ ;  $A_p(u) = (w_p\gamma - 1)/(w_p\gamma + 1)$ ;  $w_p = Z_p/\rho c$ .

Выражение (2) можно представить в виде

$$G = G_0 + G_1,$$

где  $G_0$  – функция Грина свободного пространства;

$G_1$  – слагаемое, определяющее поле, отраженное от границы полупространства [10],

$$G_0(r_1, r_2) = \frac{i}{4} H_0^{(1)}(k|r_1 - r_2|) = \frac{i}{4} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left\{ \begin{array}{l} J_n[kr_1 H_n^{(1)}(kr_2)] \\ J_n(kr_2) H_n^{(1)}(kr_1) \end{array} \right\} \exp[in(\phi_1 - \phi_2)] \begin{array}{l} r_2 > r_1 \\ r_1 > r_2 \end{array} \quad (3)$$

$$G_1(r_1, r_2) = \frac{i}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} A'_p \exp\{ik[u(x_1 - x_2) + \gamma(y_1 + y_2)]\} \frac{du}{\gamma}. \quad (4)$$

Выражение (3) представляет собой теорему сложения для цилиндрических функций. После замены переменных  $u = \sin\theta$ ,  $\gamma = \cos\theta$  и перехода к цилиндрической системе координат:  $x_1 = r_1 \sin\phi_1$ ,  $y_1 = r_1 \cos\phi_1$ ,  $x_2 = r_2 \sin\phi_2$ ,  $y_2 = r_2 \cos\phi_2$  получаем

$$G_1(r_1, r_2) = \frac{i}{4\pi} \int_{\Gamma} A'_p(\theta) \exp[ikr_1 \cos(\phi_1 - \theta)] \cdot \exp[ikr_2 \cos(\phi_2 + \theta)] d\theta. \quad (5)$$

где  $\Gamma$  – контур Зоммерфельда:  $-\pi/2 + i\infty$ ,  $\pi/2 - i\infty$ .

Используя разложение плоской волны по цилиндрическим функциям

$$\exp(ikr \cos\alpha) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} i^m J_m(kr) \exp(im\alpha), \quad (6)$$

получаем 
$$G_1(r_1, r_2) = \frac{i}{4} \sum_{n=-\infty}^{\infty} (-i)^n J_n(kr_1) \exp(in\phi_1) \sum_{m=-\infty}^{\infty} (-i)^m J_m(kr_2) \exp(-im\phi_2) f_{m+n}, \quad (7)$$

где  $f_{m+n}$  – коэффициенты, определяемые следующим выражением,

$$f_s = \frac{(-i)^s}{\pi} \int_{\Gamma} A_p(\cos\theta) \exp(i2kb \cos\theta + is\theta) d\theta. \quad (8)$$

Для акустически жесткой или акустически мягкой поверхности полупространства имеем:  $A_p = 1$  или  $A_p = -1$ , соответственно [2, 3].

Звуковое поле, рассеянное цилиндром, снова вычисляется по формуле (1), однако при этом надо считать, что точка наблюдения  $r_1$  уже не находится на поверхности цилиндра. После подстановки в эту формулу разложения (6) и функций Грина, имеем рассеянное поле в виде ряда

$$p_s = -\frac{\pi ka}{2} \left[ \sum_{q=-\infty}^{\infty} v_q s_q H_q^{(1)}(kr_1) \exp(iq\phi) + \sum_{q=-\infty}^{\infty} v_q s_q u_q \right], \quad (9)$$

где

$$u_q = \sum_{n=-\infty}^{\infty} (-1)^{n+q} J_n(kr_1) \exp(in\phi) f_{n+q}; \quad (10)$$

$$s_q = \left[ J_q(ka) - iw_q J'_q(ka) \right] / w_q. \quad (11)$$

Бесконечная система уравнений и выражение для рассеянного поля определяют поле рассеяния через коэффициенты разложения полного поля в ряд Фурье на поверхности цилиндра. Поэтому целесообразно преобразовать их таким образом, чтобы выделить коэффициенты разложения рассеянного поля, стремящиеся к нулю при уменьшении радиуса цилиндра. Для этого введем новые коэффициенты разложения  $a_q$ , связанные с коэффициентами  $p_q$  соотношением

$$v_q = -a_q \frac{2}{\pi ka} \frac{w_q}{J_q(ka) - iw_q J'_q(ka)}. \quad (12)$$

Тогда система уравнений запишется следующим образом:

$$a_q + \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n D_{nq} = E_q ; q = -\infty \dots \infty , \quad (13)$$

где

$$D_{nq} = -a_q^{(0)} (-1)^{q+n} f_{q+n} , \quad (14)$$

$$E_q = a_q^{(0)} \frac{k\rho c Q}{4} \left[ H_q^{(1)}(kr_0) \exp(-iq\phi_0) + \sum_{m=-\infty}^{\infty} (-1)^{m+q} J_m(kr_0) \exp(-im\phi_0) f_{m+q} \right] , \quad (15)$$

а рассеянное поле (9) примет вид

$$p_s = \sum_{q=-\infty}^{\infty} a_q \left[ H_q^{(1)}(kr_1) \exp(iq\phi_1) + \sum_{n=-\infty}^{\infty} (-1)^{n+q} J_n(kr_1) \exp(in\phi_1) f_{n+q} \right] . \quad (16)$$

В выражениях (13) и (14) коэффициенты  $a_q^{(0)}$  определяются формулами

$$a_q^{(0)}(ka) = - \frac{J_q(ka) - iw_q J_q'(ka)}{H_q^{(1)}(ka) - iw_q H_q^{(1)'}(ka)} . \quad (17)$$

Если источник находится на большом расстоянии от цилиндра, то есть  $kr_0 \gg 1$ , то выражение (16) можно упростить. Для этого представим входящую в него сумму в виде

$$\sum_{m=-\infty}^{\infty} = \frac{i^q}{\pi} \int_{\Gamma} A_p(Q) \exp(2ikb \cos Q + iqQ) \sum_{m=-\infty}^{\infty} i^m J_m(kr_0) \exp(im(q - \phi_0)) dQ . \quad (18)$$

Последняя сумма в правой части есть разложение плоской волны по цилиндрическим волнам. В результате получаем следующее интегральное представление

$$\sum_{m=-\infty}^{\infty} = \frac{i^q}{\pi} \int_{\Gamma} A_p(Q) \cdot \exp\{ik[2b \cos Q + r_0 \cos(Q - \phi_0)] + iqQ\} dQ . \quad (19)$$

При  $kr_0 \gg 1$  этот интеграл можно вычислить методом перевала. Если  $r_0 \gg b$  и  $kr_0 \gg q$ , то точка перевала  $Q_0$  определится в виде  $Q_0 \approx \phi_0$ .

После вычисления интеграла имеем

$$\sum_{m=-\infty}^{\infty} \approx p_i^{(0)} A_p(\phi_0) \exp(iq\phi_0) . \quad (20)$$

где

$$p_i^{(0)} \approx \frac{k\rho c Q}{4} \sqrt{\frac{2}{\pi kr_0}} \exp\left(ikr_0 - \frac{i\pi}{4}\right) . \quad (21)$$

Воспользовавшись выражением (22), а также асимптотическим выражением для функции Ханкеля  $H_q^{(1)}(kr_0)$  при  $kr_0 \gg 1$ , получаем систему уравнений:

$$a_q + \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n D_{qn} = F_q ; q = -\infty \dots \infty . \quad (22)$$

где коэффициенты матрицы определяются из решения бесконечной системы уравнений, а правые части записываются следующим образом

$$F_q \approx p_i^{(0)} a_q^{(0)} (-i)^q \left[ \exp(-iq\phi_0 + (-1)^q A_p'(\phi_0) \exp(iq\phi_0)) \right] . \quad (23)$$

Вычислив звуковое давление в рассеянной волне в точке наблюдения, находящейся вдали от цилиндра при выполнении условия  $kr_1 \gg 1$ . Получим

$$p_s^{(0)} \approx \sqrt{\frac{2}{\pi kr_1}} \exp\left(ikr_1 - \frac{i\pi}{4}\right) \phi_s(\phi_1) , \quad (27)$$

где

$$\phi_s(\phi_1) \approx \sum_{q=-\infty}^{\infty} a_q (-i)^q \left[ \exp(iq\phi_1) + (-1)^q A_p'(\phi_1) \exp(iq\phi_1) \right] . \quad (28)$$

Данная система полностью определяют дальнейшее рассеянное поле при дифракции плоской волны, находящемся вблизи поверхности упругого полупространства.

Ввиду необходимого краткого изложения, представим только графическое представление и анализ полученного результата на основе предложенной математической модели представления несплошности в виде цилиндрической полости находящейся вблизи раздела двух полупространств, а также зависимость картины звукового поля от частоты и приближенности границы раздела сред.

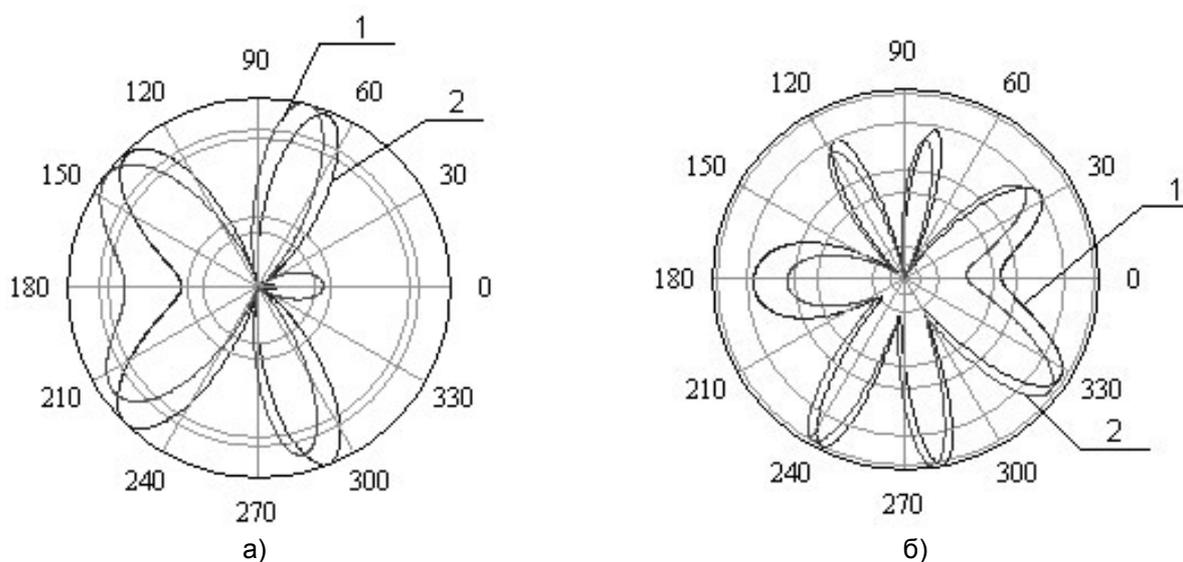


Рисунок 2 – Диаграммы рассеяния на цилиндрической полости вблизи границы раздела сред (материал сталь,  $c_1 = 5850$  м/с;  $c_2 = 3230$  м/с; плотность  $\rho_m = 7800$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент Пуассона  $\sigma = 0,3$ ): а)  $ka = 1,07$ ; б)  $ka = 1,61$ .

**Выводы:**

1 Диаграммы рассеяния на цилиндре, находящемся вблизи границы раздела сред, являются более неравномерными, по сравнению с диаграммами рассеяния в свободном поле.

2 При приближении к границе раздела сред, возникают дополнительные максимумы и минимумы на диаграммах, что является следствием многократных повторных отражений рассеянных волн и интерференции между ними.

3 При увеличении между цилиндром и границе изменяется угловое расстояние между экстремумами кривых, со стороны упругого пространства происходит искажение (уменьшение) кривых, это связано в первую очередь с тем, что рассеянные волны оказываются в противофазе, что приводит к некоторому уменьшению (увеличению – если в фазе) кривых характеристик рассеяния.

Большую проблему в решении задач моделирования оказывает сложность описания математических моделей из-за большого числа условий, бесконечных систем уравнений, граничных условий и т.д. Поэтому необходимо совершенствовать существующие модели. В нашем случае для упрощения представления и вычисления не были учтены такие факторы как, потери в материале (которые можно учесть, считая скорости волн комплексными величинами и задавая соответствующие коэффициенты затухания для продольной и поперечных волн), различные неравномерности в структуре, составе материала, влияние конечности во времени зондирующего импульса, влияние форм «реальных».

Таким образом, моделирование и расчеты звуковых полей для тел расположенных вблизи границы раздела сред являются проблемами, требующими дальнейшего изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шендеров, Е.Л. Волновые задачи гидроакустики / Е.Л. Шендеров. -Л.: Судостроение, 1972. -206 с.
- 2 Шендеров, Е.Л. Дифракция звука на упругом цилиндре, расположенном вблизи поверхности упругого полупространства / Е.Л. Шендеров // Акустический журн. РАН. -2002. - Т.48, №2. -С. 231-242.
- 3 Шендеров, Е.Л. Разработка физических моделей для расчета характеристик обратного рассеяния на телах, расположенных вблизи границы раздела сред / Е.Л. Шендеров // Гидроакустика. -2002. -Вып.3. -С. 81-112.
- 4 Алешин, Н.П. Анализ упругого поля ультразвуковых волн, рассеянных на цилиндрическом отражателе / Н.П. Алешин, Л.Ю. Могильнер. // Дефектоскопия. -1984. -№6. -С. 3-13.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ультразвуковой контроль, моделирование  
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Сидоров Михаил Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»  
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

## **НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ НА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ**

ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

**М.В. Сидоров, В.В. Сидоров, Е.М. Лыткина**

**DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF NOT DESTROYING CONTROL ON THE EAST-SIBERIAN RAILWAY**  
«Irkutsk State University of Railway Engineering»  
M.V. Sidorov, V.V. Sidorov, E.M. Lytkina

Questions connected with acoustic-issue дефектоскопией are considered. Probe variants on base from modules of dispersion from defects are offered at hardening of materials after welding.

Рассмотрены вопросы связанные с акустико-эмиссионной дефектоскопией. Предложены варианты исследования на базе составления модулей рассеяния от дефектов при застывании материалов после сварки.

Неразрушающие методы контроля имеют очень важное значение для повышения качества, надежности, безотказности изделий железнодорожного транспорта. Существует большое количество методов и способов основанных на использовании различных физических полей, излучений и веществ для получения информации о качестве исследуемых материалов и изделий. Всего существует девять видов НК: 1) магнитный, 2) электрический, 3) вихре-токовый, 4) радиоволновой, 5) тепловой, 6) оптический, 7) радиационный, 8) акустический, 9) проникающими веществами [1].

Обеспечение высокого и стабильного качества промышленной продукции является одной из основных проблем. Одной из главных причин, снижающих качество продукции, являются скрытые дефекты. Большая часть отказов изделий в начальный период их эксплуатации и на более поздних этапах связана с проявлением скрытых дефектов производства. При этом под дефектом понимаются любые отклонения от заданных физических или других свойств изделия в целом или каких-либо его частей.

На железнодорожном транспорте неразрушающему контролю уделяется особое внимание. Неразрушающий контроль является неотъемлемой частью почти всех структурных подразделений занимающихся ремонтом и техническим обслуживанием подвижного состава и железнодорожного пути.

Ни один из перечисленных видов неразрушающего контроля не является универсальным и не может гарантировать сто процентное отсутствие дефектов. Повышение быстродействия, надежности и долговечности изделий при усложнении их конструкции связано с возрастанием трудоемкости контроля. Контроль качества становится самой массовой технологической операцией и требующей достаточно больших материальных затрат.

Но как известно прогресс не стоит на месте, поэтому происходит непрерывное совершенствование видов и методов контроля, что в свою очередь снижает материальные затраты, время и увеличивает достоверность контроля.

Одно из ведущих направлений развития неразрушающего контроля – ультразвуковая дефектоскопия или, в более общем аспекте, акустические методы контроля, которые занимают порядка 70% от общего числа видов контроля применяемых на железнодорожном транспорте.

Ультразвуковая дефектоскопия – это методы и технические средства получения визуальной информации о внутренней структуре различных объектов и сред путем использования явлений отражения, рассеяния и поглощения ультразвуковых сигналов, образующихся при взаимодействии ультразвукового излучения с исследуемым объектом [2]. Интерес к практическому использованию ультразвуковой дефектоскопии обусловлен в первую очередь тем, что из-за различной природы ультразвуковых и электромагнитных волн (видимого света, рентгеновских лучей и др.) она позволяет наблюдать оптически непрозрачные структуры за счет акустических свойств, что в некоторых случаях невозможно при использовании проникающих электромагнитных излучений. Причем важным преимуществом является то, что при низких интенсивностях ультразвуковых сигналов они безвредны для живых организмов. Расширение внедрения ультразвуковых методов визуализации и измерений идет параллельно с решением проблем разработки более оптимальных методов преобразования аку-

стических полей в оптические изображения и созданием средств, обеспечивающих переход от качественного анализа этих изображений к количественному.

Решение проблемы определения характера и величины нарушений сплошности в изделиях, обнаруживаемых ультразвуковым дефектоскопом, требует знания особенностей отражения звука от дефектов различной формы.

За последнее время в литературе появился ряд работ, посвященных проблеме рассеяния упругих волн полостями различных форм и оценки величины несплошности.

Известно, что фундаментальным, объективным свойством любых неоднородностей твердых сред является их способность оказываться препятствием на пути распространения упругих волн. В результате чего порождаются рассеянные волны, параметры которых зависят от параметров несплошности. Поэтому изучение закономерностей рассеяния упругих волн на препятствиях различной формы и строения является важнейшим элементом формирования физических основ обнаружения и определения характера неоднородностей, и имеет определяющее значение для развития ультразвуковых методов неразрушающего контроля. В действительности для этих целей широкое распространение получило использование идеализированных замещающих моделей эквивалентных по свойствам естественным неоднородностям. При решении задачи о взаимодействии упругих волн с характерными для структуры материала неоднородностями, имеющими естественное происхождение, в целях применения в области неразрушающего контроля, широкое распространение нашел ряд моделей в виде объектов преимущественно простых геометрических форм типа: диск, тонкая полоса, цилиндр, сфера. Моделирование позволяет наиболее качественно изучить особенности отражения ультразвука от препятствий различной формы с учетом таких факторов, как потери при распространении ультразвука в изделии. Основными параметрами, определяющими потери, являются затухание ультразвука и частота сигнала.

Моделирование процессов рассеяния от дефектов различной формы и ориентации является сложнейшей задачей. Это связано, прежде всего, с необходимостью введения в модель различных влияющих факторов на поле рассеяния, таких как неоднородность материала, крупнозернистость, затухание ультразвука, расположение дефекта вблизи границы раздела двух сред и т.д.

В связи с ужесточающимися требованиями к ультразвуковому контролю в последнее время, возникает вопрос об изучении обратного рассеяния на телах, расположенных вблизи границы раздела различных сред. Граница двух полупространств оказывает значительное влияние на рассеянное поле от дефекта, вследствие многократного переотражения между дефектом и границей полупространства и поэтому оценка величины дефекта может быть ошибочной, что неприемлемо в неразрушающем контроле.

Одним из примеров, необходимостью более качественного и точного определения дефектов, является дефектоскопирование рельсов, колесных пар, нефтепроводов, так как неправильная классификация дефекта или его пропуск может привести к катастрофе. При выявлении дефектов, расположенных вблизи поверхности, эхосигналы от дефекта и стенки могут перекрываться, поэтому трудно определить время прихода сигнала и классифицировать дефект по той или иной принадлежности.

Существует много примеров где необходимо использовать разделения сигнала и учета влияния границы раздела сред на звуковое поле от несплошности для правильной оценки величины дефекта. Например, при дефектоскопировании рельсов используется при сплошном контроле РДМ-2 или его аналог РДМ-22. Эти дефектоскопы предназначены для обнаружения дефектов в обоих нитях железнодорожного пути по всей длине и сечению рельсов за исключением перьев подошвы при сплошном контроле со скоростью движения 4 км/ч. К дефектам, подлежащим выявлению относят множество дефектов, как и в зоне болтового соединения, так и вне стыка, но очень плохо выявляются дефекты в подошве рельса, так как имеет место перекрытие сигналов от дефекта и границы раздела, поэтому выявляются дефекты, которые расположены на расстоянии не менее 10 мм от нижней части подошвы рельса.

Таким образом, исследования и расчеты звуковых полей для тел расположенных вблизи границы раздела сред являются проблемами, требующими дальнейшего изучения. Помимо этого возникает необходимость модернизации аппаратуры отвечающей все более ужесточающимся требованиям неразрушающего контроля, способной разделять сигналы от дефектов на ранних стадиях развития, то есть менее 10 мм и находящихся в любом месте объема контролируемого изделия.

Вторым наиболее важным направлением развития неразрушающего контроля на сегодняшний день являются методы акустико-эмиссионного контроля, основанные на излучении и регистрации волн напряжений при быстрой локальной перестройке структуры материала.

В основе метода акустической эмиссии лежит междисциплинарный подход, базирующийся на объединении моделей механики разрушения и методик технической диагностики и неразрушающего контроля, позволяющих определить техническое состояние объекта. Метод АЭ позволяет оценить степень опасности дефекта, получить информацию о статической прочности объекта, близости его к разрушению, определить срок безотказной эксплуатации объекта. Большинство методов АЭ основано на нагружении объектов контроля, этот вариант применительно к железнодорожному пути рассматривать не желательно, так как нагрузка применяемая в большинстве методов должна превышать в несколько раз рабочую нагрузку железнодорожных рельсов, а это может способствовать появлению и развитию дефектов [3].

При сложившихся темпах прироста общая протяженность бесстыкового пути в 2005 г. достигла 55 тыс. км, а на 2008 г. 65 тыс. км, что составит соответственно 44 и 56% длины главных путей.

Помимо нагружения АЭ позволяет наблюдать и изучать динамику, процессы деформации, разрушения, перестройки структуры, химических реакций, взаимодействия излучения с веществом и т.д. Интересен метод АЭ заключающийся в перестройке структуры материала (при остывании сварных швов). Необходимость применения метода АЭ возникла вследствие большого количества обнаруженных дефектов и изломов рельсов по сварке. На заводе по статистике за пол года выявляются по сварке 15 дефектов УЗ методом контроля (Авиконн-01 МР и РДМ-3), а спустя пару месяцев нахождения рельсов уложенных в путь, дефектоскопными средствами выявляется примерно 130 дефектов по сварке. Этот факт позволяет сделать определенные выводы относительно качества выходного контроля на ремонтно-сварочном предприятии и появляется необходимость внедрения дополнительной ступени автоматизированного неразрушающего контроля позволяющего более качественно выявлять дефекты и судить о структуре металла в местах сварки.

В настоящее время ведется работа по изучению использования моделей, как в ультразвуковой дефектоскопии, так и АЭ методе при остывании сварного шва как дополнительной ступени автоматизированного контроля.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / В.В. Клюев [и др.]; под ред. В.В. Клюева. -2-е изд., испр. и доп. -М.: Машиностроение, 2003. -656 с.: ил.
- 2 Шендров, Е.Л. Излучение и рассеяние звука / Е.Л. Шендров. -Л.: Судостроение, 1989.
- 3 Неразрушающий контроль: справочник. В 8 т. Т.7 / под общ. ред. В.В. Клюева. -2-е изд., испр. -М.: Машиностроение, 2006. -829с. : ил.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** неразрушающий контроль

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Сидоров Михаил Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»  
Сидоров Василий Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»  
Лыткина Екатерина Михайловна, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АЛЮМИНИЕВОМ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРЕ

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

**А.П. Скуратов, А.А. Пьяных**

**NUMERICAL MODELLING THERMOPHYSICS PROCESSES IN ALUMINIUM ELECTROLYZER**

«Siberian Federal University»

A.P. Skuratov, A.A. Pyanyh

The three-dimensional mathematical model of a thermal condition aluminum electrolyzer C-8BM, considering distribution of electric potential and influence of contact resistance is offered.

Предложена трехмерная математическая модель теплового состояния алюминиевого электролизера С-8БМ, учитывающая распределение электрического потенциала и влияние контактных сопротивлений.

В электролизерах с самообжигающимися анодами существенное влияние на эффективность их работы оказывают распределение и характер взаимодействия тепловых и электрических полей. Экспериментальные исследования тепловых и электрических полей в электролизерах трудоемкая задача, которая не может дать полной информации о процессах теплообмена. Поэтому наиболее рационально использовать расчетные методы анализа процесса электролиза.

Математическая модель для расчета теплового и электрического полей в электролизере Содерберга (типа С-8БМ) состояла из трехмерного дифференциального уравнения теплопроводности с внутренними источниками теплоты, представленного в стационарном виде [1]

$$\operatorname{div}[\lambda(T) \cdot \nabla T] + \sigma(T) \cdot (\nabla \phi)^2 + Q = 0, \quad (1)$$

и уравнения распределения электрического потенциала, которое представляет собой непрерывное распределение электрического заряда в стационарном виде

$$\operatorname{div}[\sigma(T) \cdot \nabla \phi] = 0, \quad (2)$$

где  $T$  – температура, К;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

$Q$  – дополнительные источники теплоты, Вт/м<sup>3</sup>;

$\sigma$  – удельная электрическая проводимость, (Ом·м)<sup>-1</sup>;

$\phi$  – электрический потенциал, В.

Для материалов с анизотропными свойствами учитывалось изменение теплофизических свойств от направления. Также все теплофизические параметры использовались как функции от температуры.

Влияние гидродинамики на теплообмен в расплаве учитывалось путем введения эффективных коэффициентов теплопроводности, значение которых принимались согласно данным промышленного эксперимента [2, 3]

$$\lambda_{\text{эфф}} = \lambda + \lambda_{\text{эфд}}, \quad (3)$$

где  $\lambda_{\text{эфд}}$  – коэффициент, учитывающий увеличение теплопроводности за счет конвекции.

Как видно, запись уравнения (1) является обобщенной постановкой стационарной задачи Стефана, в которой путем введения скачка теплопроводности учитывается наперед неизвестная граница раздела фаз «расплав-твердое тело» [4]

$$\lambda(T) = \begin{cases} \lambda_T, & T \leq T_I \\ \lambda_{\text{ж}}, & T > T_I \end{cases}. \quad (4)$$

где  $T_I$  – температура фазового перехода, К;

$\lambda_T, \lambda_{\text{ж}}$  – коэффициенты теплопроводности твердой и жидкой фаз соответственно, Вт/(м·К);

За область решения принималась четвертая часть объема всего электролизера С-8БМ (рисунок 1).

На границе расчетной области, контактирующей с воздухом, принималось граничное условие третьего рода для конвективной составляющей и закон Стефана-Больцмана для лучистой составляющей теплового потока

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha(T - T_{\text{окр}}) + \varepsilon c_0 \cdot \left[ \left( \frac{T}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{\text{окр}}}{100} \right)^4 \right]. \quad (5)$$

где  $\alpha$  – коэффициент конвективной теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\varepsilon$  – степень черноты;

$c_0$  – излучательная способность абсолютно черного тела,  $c_0 = 5,6687 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);

$T, T_{\text{окр}}$  – температура наружной поверхности и окружающей среды соответственно, К.

В модели учитывались термические контактные сопротивления, которые определяют неидеальный контакт поверхностей элементов электролизера. В силу чего в пространстве между двумя контактирующими поверхностями образуется среда, имеющая отличные теплофизические параметры. Тепловое контактное сопротивление закладывалось с учетом следующего аналитического соотношения

$$T_1 - T_2 = \rho_T \left( \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial n} \right). \quad (6)$$

где  $T_1, T_2$  – соответственно температуры контактных поверхностей, К;

$\rho_T$  – тепловое контактное сопротивление,  $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ ;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности одного из контактирующих материалов,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

На плоскостях симметрии модели использовалось граничное условие второго рода (адиабатическая поверхность)

$$-\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial n} = 0. \quad (7)$$

На анодной штанге задавалась равномерно распределенная по ее сечению плотность электрического тока

$$j = -\sigma \nabla \phi. \quad (8)$$

На катодной штанге задается нулевой электрический потенциал

$$\phi = 0. \quad (9)$$

На всех наружных поверхностях задавалось условие электрической изоляции

$$-\sigma \frac{\partial \phi}{\partial n} = 0. \quad (10)$$

В модели учитывалось также контактное падение напряжения в элементах токоподвода

$$\phi_1 - \phi_2 = \rho_{\text{э}} \cdot \left( \sigma \cdot \frac{\partial \phi}{\partial n} \right), \quad (11)$$

где  $\phi_1, \phi_2$  – соответственно потенциалы соприкасающихся поверхностей, В;

$\rho_{\text{э}}$  – электрическое контактное сопротивление,  $\text{Ом} \cdot \text{м}^2$ ;

$\sigma$  – коэффициент электропроводности одного из соприкасающихся материалов,  $1/\text{Ом}$ .

Решение задачи проводилось методом конечных элементов с использованием программы Ansys. Конечно-элементная сетка математической модели, представляющая собой четвертую часть всего электролизера, содержала 494749 элементов и 530972 узла (рисунок 1).

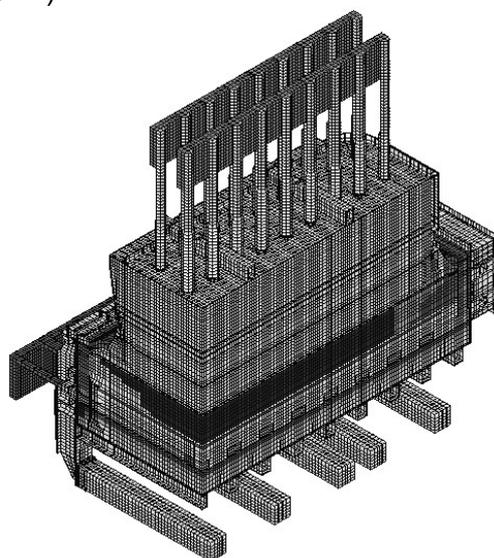


Рисунок 1 – Конечно-элементная сетка математической модели электролизера С-8БМ

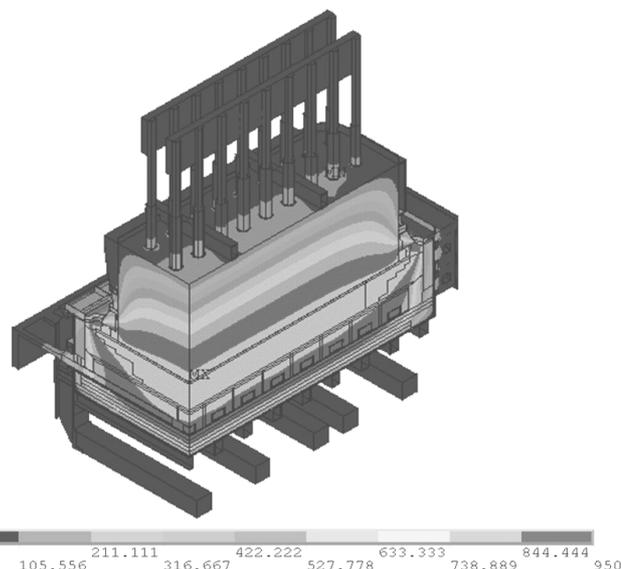


Рисунок 2 – Температурное поле электролизера С-8БМ

Апробация математической модели проводилась путем сравнения полученных результатов расчета с данными промышленных опытов. Сравнение показывает на качественно правильный характер изменения температурных кривых, полученных расчетом. Значения расчетных температур и тепловых потоков на кожухе (на уровне поверхности раздела «металл-электролит») были близки к измеренным. Максимальное расхождение температур расплава вблизи бортового блока не превышало 2,0%.

В качестве примера, на рисунке 2 приведено расчетное трехмерное температурное поле электролизера для принятых из практики его работы значений технологических парамет-

ров. Как видно, температурное поле в поперечном сечении электролизера имеет значительную неравномерность. Наибольший градиент температур наблюдается в теплоизоляционных слоях футеровки, а также на границе раздела «расплав-гарнисаж» вблизи бортового блока.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Simulation of cell thermoelectric field with consideration of electrochemical processes / G.V. Arkhipov, V.V. Pingin, Y.A. Tretyakov, P.V. Polyakov // Light Metals. -2007. -P. 327-331.
- 2 Тепловые процессы в электролизерах и миксерах алюминиевого производства / Е.Н. Панов [и др.]. -М.: Руда и металлы, 1998. -256 с.
- 3 Скуратов, А.П. Математическое моделирование тепловых полей в алюминиевом электролизере / А.П. Скуратов, А.А. Пьяных // Вестн. ассоциации выпускников КГТУ / Сиб. федер. ун-т, Политехн. ин-т. -Красноярск, 2006. -Вып. 15. -С. 161-164.
- 4 Самарский, А.А. Вычислительная теплопередача / А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич. - М.: Едиториал УРСС, 2003. -784 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электролизер, трехмерная математическая модель, теплофизический процесс, тепловое и электрическое поле

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Скуратов Александр Петрович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «СФУ»  
Пьяных Артем Анатольевич, старший преподаватель ФГОУ ВПО «СФУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26, ФГОУ ВПО «СФУ»

**РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ КАПЛИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА В ВОДНОЙ СРЕДЕ**

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

**А.П. Скуратов, А.А. Пьяных**

**NUMERICAL RESEARCH OF SPEED COOLING A DROP ALUMINIUM ALLOY IN THE WATER ENVIRONMENT**  
«Siberian Federal University»  
A.P. Skuratov, A.A. Pyanyh

The mathematical model thermophysics the processes proceeding at cooling of a drop alloy Al-15 of % Pb is offered. Dependence of speed cooling on the size of a drop melt is defined.

Рассматривается численное моделирование теплофизических процессов при получении гранул алюминиевого сплава Al – 15% Pb различного размера.

Моделировался процесс приготовления гранул, осуществляемый следующим образом: из индукционной печи с расплавом алюминиевого сплава с помощью дозатора капля жидкого металла фиксированного размера падает в емкость с водой, где происходит ее кристаллизация и формирование гранулы необходимой структуры.

В настоящее время задача определения детального температурного поля кристаллизирующейся капли высококонцентрированных алюминиевых расплавов, с ограниченной растворимостью легирующего компонента, в процессе ее свободного движения в охлаждающей среде практически не решалась. Известны лишь аналитические зависимости для определения времени кристаллизации сплавов таких материалов, дающие приближенную оценку усредненной по объему температуры частицы.

Математическая модель для описания теплофизических процессов, протекающих при гранулировании расплава системы Al – 15% Pb, представляет собой систему дифференциальных уравнений неразрывности, сохранения импульса и сохранения энергии. Уравнение энергии включает члены, отвечающие за внутреннее тепловыделение при фазовом переходе в расплаве капли при кристаллизации и при закипании воды. Так как движение жидкости вблизи двигающейся частицы имеет турбулентный характер, то необходимо учитывать и турбулентные пульсации жидкости. При учете турбулентности, мгновенные значения гидродинамических характеристик записываются как сумма статистических средних значений и пульсационных составляющих. Таким образом, скорости в уравнениях движения являются усредненными по Рейнольдсу [1]

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \text{div}(\rho v) = 0 ; \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \operatorname{div}(\rho v v) = -\nabla p + \nabla \left( \bar{\tau} - \rho v' v' \right); \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \operatorname{div}(\rho v h) = \nabla(\lambda \nabla T) + S_h; \quad (3)$$

$$\bar{\tau} = \mu \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial v_k}{\partial x_k} \right). \quad (4)$$

- где  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  
 $v$  – скорость, м/с;  
 $p$  – давление, Па;  
 $\mu$  – коэффициент динамической вязкости, Па·с;  
 $v'$  – пульсационная составляющая скорости, м/с;  
 $h$  – энтальпия, Дж/кг;  
 $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  
 $S_h$  – внутреннее тепловыделение, Вт/м<sup>3</sup>;  
 $\bar{\tau}$  – тензор вязких напряжений, Па;  
 $\delta_{ij}$  – символ Кронекера,  $\delta_{ij} = 0$  ( $i \neq j$ ),  $\delta_{ij} = 1$ .

Для моделирования турбулентности используется гипотеза Буссинеска, связывающая напряжения Рейнольдса  $\rho v' v'$  с осредненным градиентом скоростей. Данная гипотеза, используемая в  $k-\varepsilon$  моделях турбулентности, применена для замыкания уравнений (1)-(3).

Уравнения переноса для кинетической энергии турбулентности  $k$ , м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>, и ее диссипации  $\varepsilon$ , м<sup>2</sup>/с<sup>3</sup>, имеют следующий вид:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \operatorname{div}(\rho v k) = \nabla \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + P - \rho \varepsilon; \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \operatorname{div}(\rho v \varepsilon) = \nabla \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + C_1 \frac{\varepsilon}{k} P - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k}, \quad (6)$$

- где  $P$  – скорость генерации турбулентности, м<sup>2</sup>/с<sup>3</sup>;  
 $\mu_t$  – турбулентная вязкость, Па·с.

Эмпирические константы согласно стандартной форме  $k-\varepsilon$  модели имеют следующие значения  $\sigma_k = 1$ ;  $\sigma_\varepsilon = 1,3$ ;  $C_1 = 1,44$ ;  $C_2 = 1,92$ .

Лучистый тепловой поток с поверхности гранулы определяется из закона Стефана-Больцмана

$$Q = \varepsilon C_0 \left[ \left( \frac{T_n}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{окр}}{100} \right)^4 \right], \quad (7)$$

- где  $\varepsilon$  – степень черноты;  
 $C_0$  – излучательная способность абсолютно черного тела, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  
 $T_n, T_{окр}$  – температура внешней поверхности капли и окружающей среды соответственно, К.

Влияние образования пара на теплообмен учитывалось в приближении задачи Стефана, где граница раздела «пар-вода» определялась при решении уравнений движения и теплообмена. При температуре выше 100 °С принимались параметры пара, ниже – параметры воды. В уравнениях учитывалась зависимость теплофизических параметров сред от температуры.

Задача решалась в двумерной осесимметричной постановке. Для решения уравнений (1)-(3) использовался численный метод контрольного объема, реализованный в программе Star-CD. Расчетная сетка представлена на рисунке 1.

Для улучшения сходимости решения вблизи поверхности сферической капли было создано специальное сгущение сетки. При этом предполагалось, что именно в этой области будут наблюдаться высокие градиенты температур, скоростей и давлений.

На рисунке 2, в качестве примера, представлено температурное поле капли расплава диаметром 6 мм и окружающей ее паровой среды спустя 0,5 с ее движения в воде.

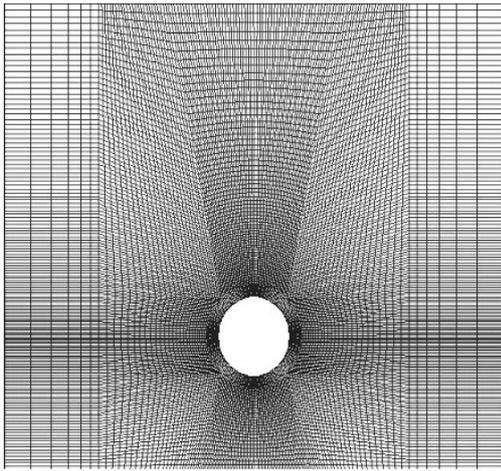
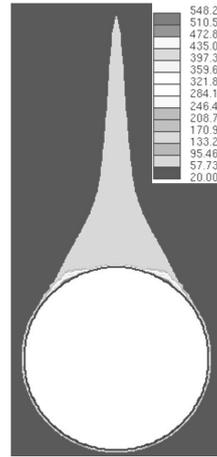
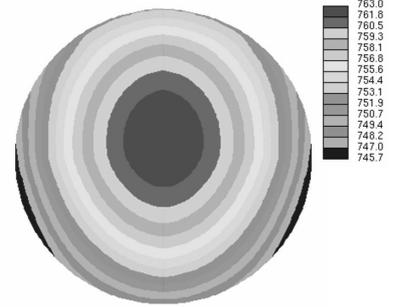


Рисунок 1 – Расчетная сеточная область, занятая пароводяной смесью



пароводяная смесь



сечение гранулы

Рисунок 2 – Расчетная температура

Получены расчетные зависимости динамики изменения температур в объеме капли различного размера в процессе ее движения в пароводяной среде (рисунок 3). Установлено, что для капли диаметром 4,5; 6 и 7,5 мм средние за все время движения в воде скорости охлаждения соответственно равны 680, 393 и 325 °С/с. Выявлено существенное отличие максимальной скорости охлаждения капли расплава от средних ее значений. Так, в начальный период движения (0-0,2 с) для капель исследуемого размера скорости охлаждения составляют соответственно 1200, 800 и 600 °С/с. На основе численного исследования определена также высота водяной ванны, необходимая для полного затвердевания гранул различного размера.

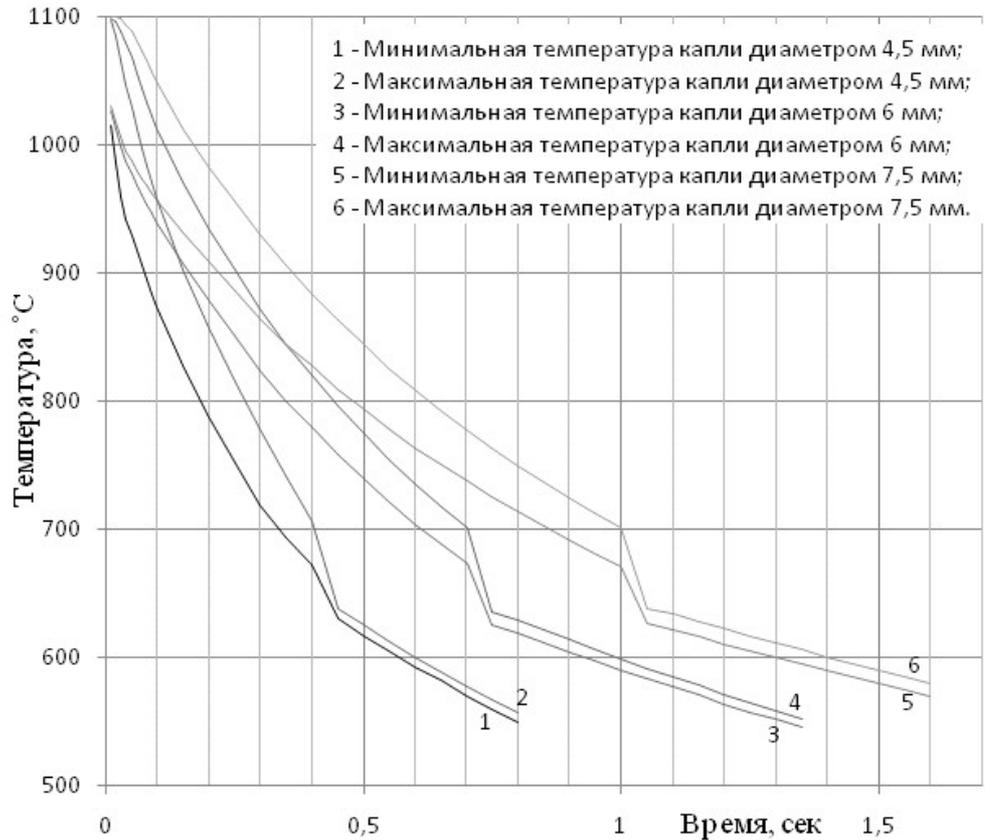


Рисунок 3 – Зависимость скорости охлаждения капли сплава в воде от времени ее размера и времени движения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Патанкар, С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкостей / С. Патанкар. -М.: Энергоатомиздат, 1984. -152 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: математическая модель, гранулы, алюминиевый сплав, скорость охлаждения, водная среда

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Скуратов Александр Петрович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «СФУ»  
 Пьяных Артем Анатольевич, старший преподаватель ФГОУ ВПО «СФУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26, ФГОУ ВПО «СФУ»

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ САМОРЕГЕНЕРИРУЮЩЕГОСЯ ФИЛЬТРА И ОЦЕНКА ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ В СМАЗОЧНОЙ СИСТЕМЕ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»

Н.Н. Таращан, Г.Г. Галстян

DESIGN THE CONSTRUCTION OF SELF-CLEANING FILTER AND EVALUATE THE EFFICIENCY IN LUBRICATING SYSTEMS OF SHIPS DIESEL'S

«Maritime State University named adm. G.I. Nevel'skoi»  
N.N. Tarashyan, G.G. Galstyan

There is construction and shown self-cleaning with opposite flow cleaning of filtration block for cleaning diesel's. The figure of connecting in to lubrication system ICE with clean cleaning fluid by centrifuge is shown. Analyses of engine efficiency self-cleaning filters in clean of lubrication oil in medium-rate diesel engine is shown.

Приведена конструкция и описано функционирование саморегенерирующегося с противоточной регенерацией фильтровального модуля тонкой очистки горюче-смазочных материалов. Показана схема включения его в смазочную систему ДВС с очисткой промывной жидкостью центрифугой. Дан анализ моторной эффективности саморегенерирующегося фильтра при очистке моторного масла в среднеоборотном дизеле.

В Морском государственном университете им. адм. Г.И. Невельского разработан саморегенерирующийся фильтр (СРФ) высокой автономности, способный работать в смазочной системе ДВС в течение 2-5 тыс. ч без вскрытия для проведения профилактических работ и замены поврежденных фильтрующих элементов (ФЭ), их химической чистки. Очиститель компактен, надежен в работе, может фильтровать до 240 м<sup>3</sup>/ч моторного масла. В смазочной системе дизеля он устанавливается на полном потоке и может защищать его пары трения от опасных абразивных частиц, диаметр которых превышает 15 мкм.

Регенерация ФЭ осуществляется обратной промывкой их фильтруемой жидкостью. Для функционирования СРФ не требуется дополнительного подвода энергии. Он работает, используя энергию давления смазочной системы. Автоматическое управление работой фильтра на очистителе отсутствует, то есть очиститель функционирует с постоянно включенной системой регенерации ФЭ.

Достоинством СРФ является полная унификация его конструкции, что достигается модульным принципом его комплектации, когда необходимая пропускная способность достигается увеличением числа последовательно или параллельно соединенных модулей. При последовательном соединении модулей полости грязного и отфильтрованного масла у них становятся общими, что позволяет гидропривод распределительного устройства оставлять только у одной секции. Как при последовательном, так и при параллельном соединении модулей их ФЭ работают автономно, то есть относительно потока фильтруемого масла они подключены параллельно.

При комплектации СРФ используется унифицированный модуль (рисунок 1) [1]. Корпус 5 каждого модуля выполнен прямоугольной формы. Его средняя часть разделена продольными и поперечными перегородками на фильтровальные камеры, на которых установлены трубные доски 4 с ФЭ 3. Трубные доски образуют перегородку, делящую кор-

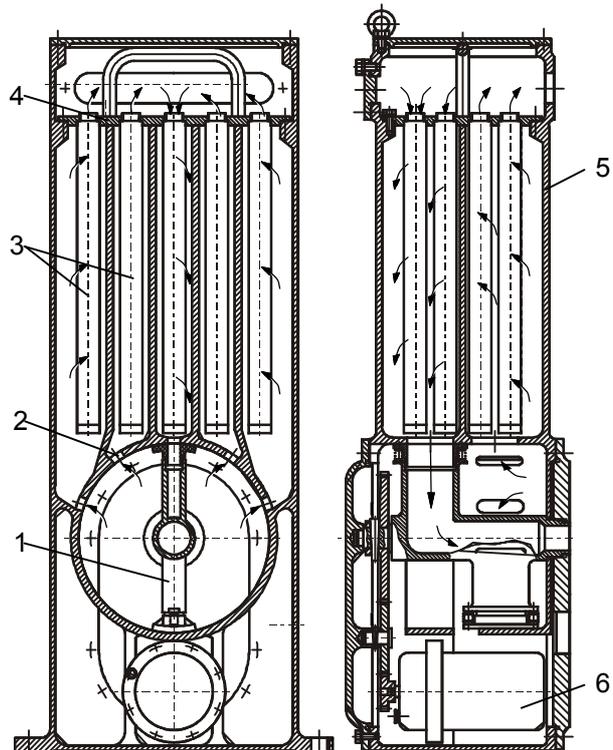


Рисунок 1 – Базовая модель унифицированного фильтра СРФ-60 с гидравлическим приводом распределительного устройства: 1-распределитель; 2-окна; 3-ФЭ; 4-доска; 5-корпус; 6-гидропривод

пус на полости очищенной и неочищенной жидкости, а каждая трубная доска с ФЭ – модульный узел в модуле фильтра.

В нижней части корпуса установлен пустотелый цилиндр с окнами 2, которые сообщают его внутреннюю полость с каждой камерой. Внутри цилиндра соосно ему установлено (по числу рядов камер) с возможностью вращения распределительное (регенерирующее) устройство 1 с отводной трубой и патрубками, торцевые поверхности которых сопряжены с внутренней поверхностью цилиндра. Отводная труба через выходное отверстие корпуса сообщается с атмосферой (зоной низкого давления). Кроме того, корпус каждого модуля имеет отверстия для подачи грязной и отвода отфильтрованной жидкости.

Патрубки распределителя через окна в цилиндре сообщают его внутреннюю полость с фильтровальными камерами. Распределительное устройство приводится во вращение гидроприводом через шестеренную передачу. Поступательное движение поршня сервомотора, перемещаемого под действием давления фильтруемой жидкости, через муфту передается во вращательное ведущей шестерне. Подачей жидкости в сервомотор и удалением ее из подпоршневых полостей управляет золотник.

Модуль работает следующим образом. Фильтруемое масло через отверстие в корпусе поступает в нижнюю его полость, ограниченную внутренней поверхностью цилиндра. Далее через окна 2 цилиндра она направляется в фильтровальные камеры, проходит через ФЭ, очищается и попадает в полость отфильтрованного масла. Далее оно через верхнее отверстие в корпусе поступает к потребителю.

При перекрытии патрубком распределителя входного отверстия фильтровальной камеры (см. рисунок 1) она выводится из процесса фильтрования. Камера через отводную трубу соединяется с областью низкого давления (атмосферой). Вследствие перепада давления между полостью очищенной жидкости и областью низкого давления образуется обратный поток жидкости. При прохождении через ФЭ в направлении, обратном процессу фильтрования, он смывает осевшие на наружной поверхности элемента частицы загрязнения и удаляет их через отводную трубку в грязевую емкость.

Процесс регенерации ФЭ в перекрытой камере длится пока поршень сервомотора перемещается в цилиндре гидропривода вправо. При перемещении влево он через муфту входит в зацепление с ведущей шестерней и при помощи специального устройства поворачивает ее, перемещая через шестеренную передачу патрубок распределителя к следующей камере. Как только башмак патрубка распределителя откроет ранее перекрываемую им фильтровальную камеру в ней возобновляется процесс фильтрования.

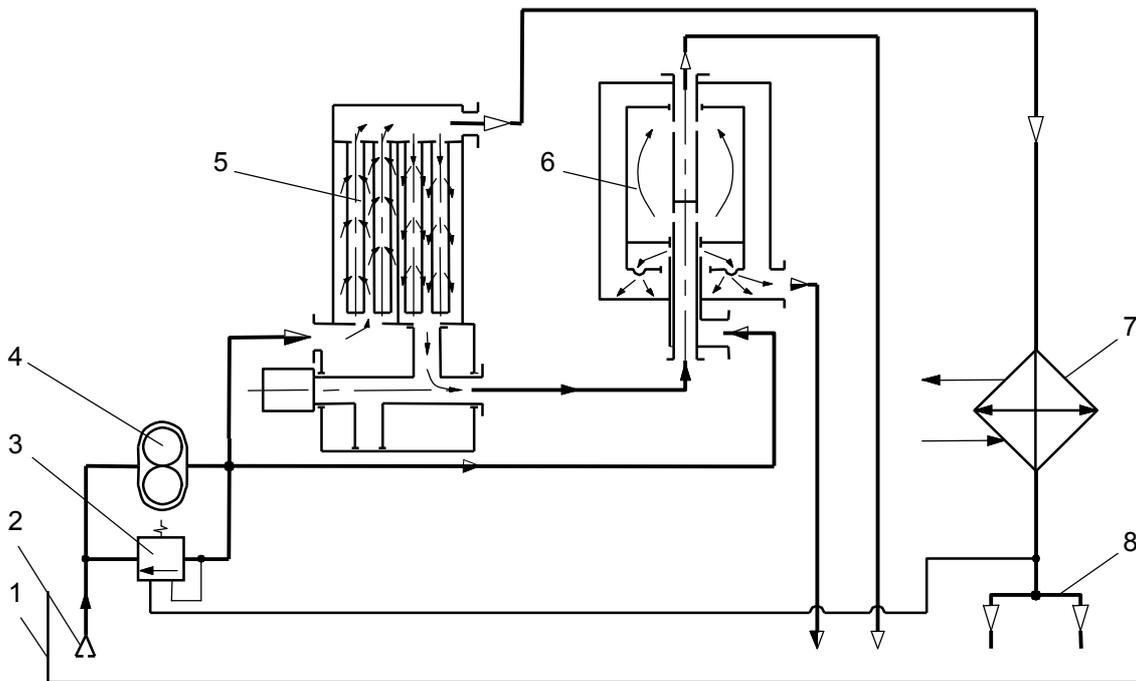


Рисунок 2 – Перспективная КСТОМ для среднеоборотного дизеля: 1-картер; 2-заборник; 3-перепускной клапан; 4-насос; 5-фильтр СРФ-60; 6-центрифуга МЦН-6НС; 7-холодильник; 8-распределительная магистраль

Для очистки промывного масла можно использовать фильтр-грязесборник или центрифугу с реактивным приводом. Эти агрегаты, кроме грязеудаления, создают дополнительное сопротивление потоку промывного масла и не допускают значительного падения давления в системе смазки.

Авторами предложена оригинальная система очистки моторного масла в дизелях с полнопоточной его очисткой СРФ (рисунок 2) [2]. Новизна включения фильтра в смазочную систему дизеля состоит с дополнительной очистке масла центрифугой с реактивным приводом. При этом для повышения эффективности работы центрифуги очистке подвергают промывное масло, в котором загрязнения скоагулированы. Чтобы повысить эффективность регенерации ФЭ фильтра, используют центрифугу с напорным сливом, которая имеет низкое гидравлическое сопротивление и позволяет увеличить скорость промывного потока при смыве отложений с ФЭ. Фактор разделения центрифуги повышают автономной подачей масла на гидравлический (реактивный) привод ее ротора. Для этой цели забор масла на привод ротора центрифуги осуществляют от точки смазочной системы, где давление высоко.

Возможности СРФ в повышении эффективности очистки моторного масла показаны на примере дизеля Vasa-32 (6ЧН32/35) (таблица). Подключение СРФ-60 и центрифуги с напорным сливом МЦН-7НС осуществлялось по схеме, изображенной на рисунке 2. В качестве базы сравнения использовалась штатная система очистки моторного масла дизеля Vasa-32, включающая полнопоточный фильтр тонкой очистки масла (ФТОМП) с ФЭ Н-20 поверхностного типа, фильтровальная штора которых в форме многолучевой звезды сгофрирована из специального нетканого материала с тонкостью отсева 40 мкм.

*Таблица – Результаты эксплуатационных испытаний маслоочистителей*

Показатель	Средства очистки ММ	
	ФТОМП	СРФ-60 + МЦН-7НС
Состояние масла к 2000 ч работы, концентрация НРП, %:		
– общих	2,6±0,4	1,4±0,2
– зольных	0,65±0,1	0,28±0,03
Щелочность, мг КОН/г	8,9±0,9	12,7±1,2
Степень окисления, %	12,6±1,6	8,5±0,8
Содержание смол, %	7,2±0,06	6,1±0,05
Работа МО, интенсивность очистки масла от НРП, г/ч:		
– общих	290±40	3270±250
– зольных	170±20	1830±160
Состояние дизеля, скорость изнашивания деталей ДВС:		
– комплект поршневых колец, г/1000 ч	9,2±1,2	5,6±0,6
– цилиндровая втулка, мкм/1000 ч	37±6	23±4
– вкладыши подшипников, г/1000 ч	9±1	7±0,8
Нагаро- и лакообразование (общая оценка), балл	26,8±3,5	15,4±2,1

Моторные испытания маслоочистителей проводили на масле М14Д<sub>2</sub> (цл 30) (ГОСТ 12337-84). Дизель работал на мазуте топочном 40, IV вида с содержанием серы до 2% (ГОСТ 10585-99). Угар масла составлял 1,60-1,74 г/(кВт·ч). Чистку ротора центрифуги от отложений осуществляли через 250 ч работы. Сравнение результатов моторных испытаний маслоочистителей показало преимущество комбинированной системы тонкой очистки масла (КСТОМ) с использованием СРФ-60 и МЦН-7НС. По сравнению со штатной системой интенсивность очистки масла от нерастворимых продуктов (НРП) при ее использовании возросла в 9-12 (см. таблицу). При этом доминирующую роль в улучшении этого показателя показала центрифуга. Она взяла основную грязевую нагрузку на себя и облегчила работу СРФ-60. Поэтому перепад давления на этом фильтре за 2 тыс. ч работы практически не изменялся. В то же время ФЭ типа Н-20 за этот период пришлось сменить трижды.

Кинетика накопления общих НРП в моторном масле в обоих случаях проходила по экспоненте со стабилизацией на уровне 2,6% при использовании ФТОМП и 1,4% – при комбинации СРФ-60 и МЦН-7НС (см. таблицу). По зольным продуктам эффект от дополнительного центрифугирования масла был еще выше. Максимальная концентрация нерастворимых примесей поддерживалась соответственно на уровне 0,65 и 0,28%. Загрязнение масла НРП (ГОСТ 20684-75) при штатной системе очистки было в 1,8-2,3 раза более высоким, чем при очистке его КСТОМ.

Эффективное удаление из масла центрифугой продуктов износа, срабатывания присадок и окисления углеводородов тормозит его старение. Щелочность масла к концу этапа испытаний при комбинированной его очистке падала до 12,7 мг КОН/г. В то время как при работе со штатным маслоочистителем этот показатель соответствовал 8,6 мг КОН/г. Глубокая очистка масла центрифугой от катализаторов окисления снижает в 1,48 раз глубину его старения, на что указывает концентрация в нем карбонилсодержащих продуктов: 12,6% при штатной очистке и 8,5% – при использовании опытной системы.

Анализ износных характеристик дизеля показывает, что его пары трения очень чувствительны к состоянию масла. Торможение старения при комбинированной очистке масла привело к снижению скорости изнашивания деталей двигателя. Особенно хорошо это прослеживается по поршневым кольцам, прежде всего маслосъемным. Скорость изнашивания их уменьшилась в 1,4-2,3 раза. Менее чувствительны к качеству очистки масла мотылевые шейки коленчатого вала и вкладыши подшипников. Их износ при использовании комбинированной системы очистки масла уменьшился всего на 28-47%, что указывает на надежную защиту этих пар трения от опасных частиц загрязнения масла как ФТОМП, так и СРФ. На нагаро- и лакообразование дизеля влияние комбинированной очистки отразилось в меньшей степени. Состояние поршней по этому показателю улучшилось с 12,6 до 8,5 балла. Закоксованных колец не наблюдалось, что указывает на высокий запас моюще-диспергирующих свойств масла М14Д<sub>2</sub> (цл 30).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Самоочищающийся фильтр: А.С. 1443933 А1 СССР, МКИЗ VOID 27/12, 29/38 / А.В. Надежкин, Г.П. Кича и др. -БИ №48. -1988. -4 с.

2 Перминов, Б.Н. Научно-технические основы эффективного маслоиспользования в судовых тронковых дизелях: Монография / Б.Н. Перминов. -Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2005. - 378 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *очистка масла, саморегулирующийся фильтр*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Таращан Николай Николаевич, аспирант ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
Галстян Гарик Гагикович, курсант ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ УГАРА МОТОРНОГО МАСЛА В СУДОВОМ СРЕДНЕБОРОТНОМ ДИЗЕЛЕ ПО КРИТЕРИЮ ИЗНАШИВАНИЯ**

**ФГОУ ВПО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»**

**Г.А. Гаук**

**OPTIMIZATION OF LUBRICATION OIL IGNITING IN SHIP'S MEDIUM SPEED DIESEL ENGINE ON WEAR CRITERION**  
**«Maritime State University named adm. G.I. Nevel'skoi»**  
G.A. Gauk

The result of experiment for define ship's diesel condition according of her forcing, igniting of fuel and the quantity of employment fuel are shown. It was calculated luboil consumption which correspond to minimal wear rate of cylinders components.

Приведены результаты эксперимента по определению состояния судового дизеля в зависимости от его форсировки, величины угара моторного масла и качества применяемого топлива. Определена величина расхода масла, при котором износ цилиндро-поршневой группы достигает минимального значения.

К основным направлениям работ по экономии моторного масла (ММ) в судовых дизелях следует отнести снижение расхода на угар и увеличение срока его службы. Рациональное использование ММ предполагает в первую очередь их обоснованный выбор с учетом конструктивных особенностей дизеля и условий эксплуатации. При выборе масла необходимо также учитывать, что существенное значение на его расход в дизеле оказывает углеводородная основа ММ и тип входящих в него присадок. Правильно и обоснованно выбранный сорт масла в значительной степени способствует повышению надежности, долговечности и экономичности дизелей.

В Дальневосточном бассейне широко применяются дизели 4L20 (4ЧН20/28) фирмы

WARTSILA-VASA. Дизель имеет мощность 450 кВт при частоте вращения вала 750 мин<sup>-1</sup>. Среднее эффективное давление  $p_{me} = 2$  МПа, средняя скорость поршня 7 м/с, максимальное давление цикла 15 МПа. Удельный эффективный расход топлива составил 200 г/(кВт·ч). Дизель может работать на топливе с вязкостью до 750 сСт при 50 °С. Обычно его эксплуатация ведется на отечественных топочных мазутах 40В и 100 (ГОСТ 10585-99).

Удельный расход масла на номинальной мощности низок на новой цилиндро-поршневой группе (ЦПГ) составляет 0,75 г/(кВт·ч). В дизеле с изношенной ЦПГ он доходит до 3,25 г/(кВт·ч). Принимая во внимание, что дизель в принципе рассчитан на использовании тяжелых топлив вязкостью до 750 сСт при 50 °С и учитывая напряженность выше указанных показателей на смазочное масло, смазочная система имеет эффективную систему очистки, включающую полнопоточный фильтр с поверхностными фильтрующими элементами типа Н-15. Кроме того масло дополнительно байпасно центрифугируется.

Используемый в эксперименте дизель типа VASA20 работал по нагрузочной характеристике. При этом нагрузка на каждом этапе испытаний выдерживалась с точностью до ±8% от среднего ее значения. Порядок и режим нагружения дизеля, продолжительность этапов испытания выбирались согласно рекомендаций [1]. Угар масла регулировали изменением маслосъемного действия поршневых колец.

Оценка износов, нагаро- и лакообразования деталей ЦПГ велась в соответствии с требованиями ОСТ 24.060.09-89. При этом использовались точные методы измерения: взвешивание на аналитических весах (кольца) и метод искусственных баз (втулки).

В судовом эксперименте использовали некомпозиционный план второго порядка, который представляет собой определенные выборки строк из полного факторного эксперимента. На основе априорной информации [1] были выбраны уровни и интервалы варьирования факторов (таблица 1).

*Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов*

Фактор	Кодовое обозначение	Интервал варьирования	Уровень факторов		
			нижний –1	основной 0	верхний +1
Удельный угар масла, $g_y$ , г/(кВт·ч)	x1	0,5	0,75	2	3,25
Качество топлива и масла, $K_{TM}$ , отн. ед.	x2	3,5	0,5	4	7,5
Форсировка дизеля $p_{me}$ на режиме испытаний, МПа	x3	0,75	0,5	1,25	2

Фактор, учитывающий качество применяемых горюче-смазочных материалов (ГСМ)  $K_{TM}$ , определялся как произведение зольности масла на показатель качества топлива  $K_T$ . Дизель работал на унифицированных ММ, зольность которых варьировалась в пределах 0,5-3,0%. Показатель  $K_T$  рассчитывали по формуле [1]

$$K_T = A_3 \cdot \frac{Z_T}{Z_{T6}} + A_5 \cdot \frac{S_T}{S_{T6}} + A_6 \cdot \frac{\Phi}{\Phi_6} + A_7 \cdot \frac{\Gamma}{\Gamma_6},$$

где  $A_i$  – коэффициенты весомости;

$Z_T, Z_{T6}$  – зольность топлива, %;

$S_T, S_{T6}$  – содержание серы, %;

$\Phi, \Phi_6$  – фракционный состав топлива, отн. ед.;

$\Gamma, \Gamma_6$  – групповой состав топлива, отн. ед.;

индекс 6 соответствует базовому топливу.

Фактор  $K_{TM}$  представляет собой средневзвешенную величину вышеназванных показателей, взятых относительно базового топлива с коэффициентом весомости 0,25. Базовым принято топливо с показателями:  $Z_{T6} = 0,1\%$ ;  $S_{T6} = 2\%$ ;  $\Phi_6 = 0,4$ ;  $\Gamma_6 = 0,5$ . Характеристики топлива  $\Phi$  и  $\Gamma$  определяли соответственно долей топлива, выкипающих при температуре выше 350 °С и суммарным относительным содержанием асфальто-смолистых веществ и автоматической группы углеводородов в топливе.

В качестве функции отклика принята обобщенная скорость за этап испытаний изнашивания  $I$ . Этот показатель представляет собой сумму износов поршневых колец и цилинд-

ровых втулок, взятых с одинаковым значением коэффициента весомости. Износ указанных деталей представлен в безразмерном виде (%) относительно значений рассматриваемых показателей на базовом этапе работы:  $g_y = 2$  г/(кВт·ч);  $K_{TM} = 4$ ;  $p_{me} = 1,25$  МПа.

Матрица планирования (таблица 2) предусматривала проведение трех параллельных опытов в центре плана, по которым рассчитывалась дисперсия воспроизводимости. Коэффициенты модели определялись по формулам, приведенным в работе [2].

Для вычисления дисперсии воспроизводимости и адекватности находили сумму квадратов отклонений расчетных значений  $\hat{y}$  от экспериментальных  $y$  соответственно в опытах 5, 10, 15 и во всех точках плана.

Коэффициенты уравнения регрессии определяли по формулам [3], которые для трех факторов имеют вид:

$$b_0 = \frac{1}{3} \sum_{u=1}^3 y_{0u}; b_i = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^{15} x_{ij} y_j; b_{ii} = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{15} x_{ij} x_{ij} y_j; b_{ij} = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{15} x_{ij}^2 y_j - \frac{1}{16} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{15} x_{ij}^2 y_j - \frac{1}{6} \sum_{u=1}^3 y_{0u}.$$

При обработке экспериментальных данных, получаем:

$$b_0 = \frac{1}{3} 295 = 98,33; b_1 = \frac{1}{8} 197 = 24,63; b_2 = \frac{1}{8} 375 = 46,88; b_3 = \frac{1}{8} 322 = 40,25; b_{12} = \frac{1}{4} (-114) = -28,5;$$

$$b_{13} = \frac{1}{4} (-93) = -23,25; b_{23} = \frac{1}{4} 131 = 32,75; b_{11} = 37,83; b_{22} = 12,33; b_{33} = -1,42.$$

Дисперсию  $S^2\{y\}$  воспроизводимости эксперимента определяли по результатам опытов в центре плана (опыты 5, 10, 15). Дисперсии, характеризующие ошибки в определении коэффициентов уравнения регрессии для  $y$ , вычисляли по формулам, приведенным в работе [3]. При числе факторов  $k = 3$  получены следующие значения дисперсий:

$$S^2\{y\} = \frac{S_E}{n_0 - 1} = \frac{61}{2} = 30,5; S^2\{b_0\} = \frac{1}{3} S^2\{y\} = \frac{1}{3} 30,5 = 10,16; S^2\{b_i\} = \frac{1}{8} 30,5 = 3,81;$$

$$S^2\{b_{ii}\} = \frac{1}{4} 30,5 = 7,62; S^2\{b_{ij}\} = \frac{13}{48} 30,5 = 8,26.$$

Доверительные интервалы для коэффициентов регрессии находили через табличное значение критерия Стьюдента [2]. При  $f = n_0 - 1 = 2$  и 5 %-ном уровне значимости ( $t_\tau = 4,3$ ) доверительные интервалы равны:

$$\Delta b_0 = \pm 4,3 S\{b_0\} = \pm 4,3 \cdot 3,19 = \pm 13,71; \Delta b_i = \pm 4,3 S\{b_i\} = \pm 4,3 \cdot 1,95 = \pm 8,39;$$

$$\Delta b_{i1} = \pm 4,3 S\{b_{i1}\} = \pm 4,3 \cdot 2,76 = \pm 11,87; \Delta b_{ij} = \pm 4,3 S\{b_{ij}\} = \pm 4,3 \cdot 2,87 = \pm 12,35.$$

Вычисленные коэффициенты  $b_{22}$  и  $b_{33}$  оказались меньше доверительного интервала, поэтому их можно признать статистически незначимыми и исключить из уравнения регрессии. После исключения этих коэффициентов и перерасчете остальных с использованием метода наименьших квадратов [3] имеем

$$y = 104,57 + 24,25x_1 + 48,38x_2 + 43,63x_3 - 28,75x_1x_2 - 23,25x_1x_3 + 25x_2x_3 + 37,05x_{12}. \quad (1)$$

Адекватность полученной модели проверяли по критерию Фишера. Для вычисления дисперсии  $S^2\{y\}$  адекватности находили сумму  $S_R$  квадратов отклонений расчетных значений  $\hat{y}$  от экспериментальных  $y$  во всех точках плана (таблица 2). Расчетное значение  $\hat{y}$  определяли по выражению (1).

При числе коэффициентов  $k'$  аппроксимирующего полинома, равном 8, дисперсия адекватности соответствует [3]

$$S_{ад}^2 \frac{S_R - S_E}{N - k' - (n_0 - 1)} = \frac{2265 - 61}{15 - 8 - 2} = 440,8.$$

Представленная модель адекватна при 5 %-ном уровне значимости, так как

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S^2\{y\}} \frac{440,8}{30,5} = 14,5 < F_m = 19,3.$$

Следовательно, полученная модель адекватна при 5 %-ном уровне значимости, так как  $F_p = 16,3 < F_\tau = 19,2$ . Уравнение (1) можно использовать для оценки влияния угара масла на изнашивание дизеля разной форсировки при использовании товарных топлив.

Переход от кодированных значений факторов к натуральным осуществлялся через интервалы варьирования и основные уровни факторов в натуральном выражении по форму-

лам:

$$g_y = 1,25x_1 + 2; K_{TM} = 3,5x_2 + 4; p_{me} = 0,75x_3 + 1,25.$$

Модель процесса изнашивания при предоставлении факторов в натуральном выражении имеет вид

$$I = -35,61 - 18,3g_y + 15,56K_{TM} + 69,41p_{me} - 31,33g_yK_{TM} - 24,75g_y p_{me} + 9,64K_{TM}p_{me} + 23,71g_y^2. \quad (2)$$

Анализ зависимости (2) показал, что наибольшее влияние на функцию отклика  $I$  оказывает фактор  $g_y$ , если учитывать суммарное действие линейного и квадратичного эффектов. В модели изнашивания при представлении факторов в кодированном виде самое большое значение имеет коэффициент  $b_2$  (таблица 2), что указывает на максимальное влияние на  $I$  фактора  $K_{TM}$  при рассмотрении линейной части полинома. Наиболее значимы парные взаимодействия между факторами  $K_{TM}$  и  $p_{me}$ . Менее всего они проявляются при сочетании  $g_y$  с  $p_{me}$ .

Таблица 2 – Матрица планирования и результаты эксперимента при исследовании влияния угара масла на изнашивание дизеля

№	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{23}$	$x_{11}$	$x_{22}$	$x_{33}$	$y$	$\hat{y}$	$(\hat{y} - y)^2$
1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	203	199	16
2	1	1	-1	0	-1	0	0	1	1	0	157	138	361
3	1	-1	1	0	-1	0	0	1	1	0	197	180	289
4	1	-1	-1	0	1	0	0	1	1	0	37	55	324
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94	100	36
6	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	170	187	289
7	1	1	0	-1	0	-1	0	1	0	1	135	141	36
8	1	-1	0	1	0	-1	0	1	0	1	181	163	324
9	1	-1	0	-1	0	1	0	1	0	1	53	63	100
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	104	100	16
11	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	224	212	144
12	1	0	1	-1	0	0	-1	0	1	1	79	84	25
13	1	0	-1	1	0	0	-1	0	1	1	74	64	100
14	1	0	-1	-1	0	0	1	0	1	1	60	46	196
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97	100	9
$b_i$	98,33	24,63	46,88	40,25	-28,5	-23,25	32,75	37,83	12,33	-1,42			

$$S_E = \sum_{u=1}^{n=3} (\hat{y} - y)_u^2 = 61; S_R = \sum_{i=1}^{n=15} (\hat{y} - y)_i^2 = 2265$$

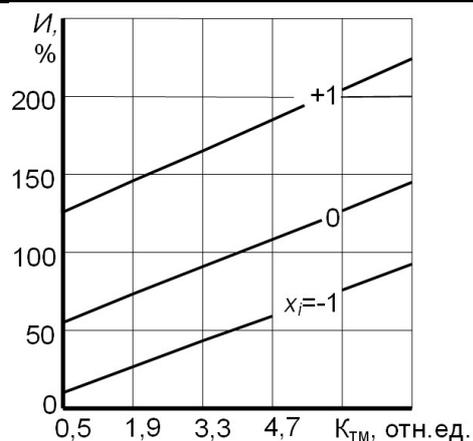
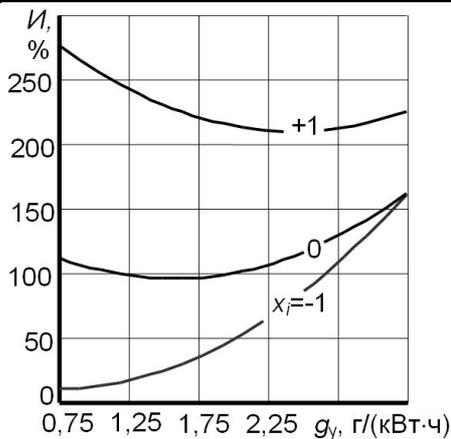


Рисунок – Зависимость изнашивания дизеля от его форсировки, угара масла и качества применяемых горюче-смазочных материалов

Исследование зависимости (2) на экстремум показало, что существует оптимальный угар  $g_{yopt}$ , при котором  $I$  достигает минимума. Взяв первую производную  $dI/dg_y$  и приравняв ее нулю, находим выражение для самого выгодного с позиций снижения изнашивания дизеля угара масла

$$g_{yopt} = 0,38 + 0,66K_{TM} + 0,52p_{me}. \quad (3)$$

Подставкой  $g_{\text{opt}}$  в уравнение (2) получим зависимость для расчета  $I_{\text{min}}$

$$I_{\text{min}} = 32,08 + 3,47K_{\text{TM}} + 59,5\rho_{\text{me}} + 6,72K_{\text{TM}}\rho_{\text{me}} - 10,48K_{\text{TM}}^2 - 6,72\rho_{\text{me}}^2. \quad (4)$$

Зависимость  $I(g_y, K_{\text{TM}})$  приведена на рисунке, которая иллюстрирует рост  $I$  при увеличении  $g_y > 2$  г/(кВт·ч). Скорость изнашивания дизеля возрастает при увеличении  $K_{\text{TM}}$ . В этом случае повышение  $I$  при увеличении  $K_{\text{TM}}$  вызвано ростом абразивности НРП.

В результате моторных испытаний с привлечением теории планирования экспериментально установлена зависимость скорости изнашивания дизеля от его форсировки, угара моторного масла и качества применяемых ГСМ. Выявлен экстремум функции  $I(g_y, K_{\text{TM}}, \rho_{\text{me}})$ , что указывает на необходимость при подборе масел учитывать форсировку дизеля и качество применяемых топлив.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Перминов, Б.Н. Научно-технические основы эффективного маслоиспользования в судовых тронковых дизелях / Б.Н. Перминов. - Владивосток: Изд-во мор. гос. ун-та, 2005. - 378 с.

2 Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. - М.: Машиностроение, 1981. - 184 с.

3 Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. - М.: Наука, 1976. - 280 с.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* угар масла, судовой дизель

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* Гаук Георгий Александрович, аспирант ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:* 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

## СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАПРЯЖЁННОСТИ ЦИЛИНДРОВЫХ КРЫШЕК СУДОВЫХ МАЛОБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»

**Ю.Е. Векслер**

### MARINE SLOW SPEED DIESEL ENGINE CYLINDER COVER THERMAL STRESS REDUCTION

«Maritime State University named adm. G.I. Nevel'skoi»

Yu.E. Veksler

Statistical data on slow speed diesel engine cylinder cover failure is given. Causes of high degree of thermal stress of cylinder cover fire side are analyzed, as well as local over-stress is. Different heat exchange intensifying layouts impact upon heat transfer is described.

Profound grounds for the necessity of whirling up the water flow in cylinder cover fire side cooling chambers for the purpose of intensifying heat exchange aver given.

Приводится статистический материал по отказам цилиндровых крышек судовых малооборотных дизелей. Анализируются причины высокого уровня тепловой напряженности огневого днища крышек штатной конструкции, а также его локальная перенапряженность. Описывается влияние различных схем интенсификации теплообмена на теплоотдачу. Доказывается рациональность турбулизации водяного потока в полостях охлаждения огневого днища крышек для интенсификации теплообмена в них.

На главных малооборотных дизелях (МОД) 6RD76, 9RD90 танкеров типа «Интернационал» и «Ленинакан» наблюдается низкая надёжность цилиндровых крышек. На главном МОД танкере «Интернационал» после 18 тыс. ч работы отмечены случаи растрескивания, деформации, зонального выгорания огневых досок цилиндровых крышек МОД. С огневой стороны выгорания металла составляли до 10 мм, местами до 14 мм. Характерными отказами крышек двигателей 9RD90 являются трещины в различных зонах огневого днища, по наружной верхней части в районе лючков, а также зональные выгорания.

Исследования условий работы цилиндровых крышек главных двигателей 6RD76, 9RD90 и их анализ показали, что кроме общего высокого уровня тепловой напряженности огневого днища наблюдается локальная перенапряженность, обусловленная характером движения газового потока и несовершенством в организации гидрорежима. Также актуально расчётное определение характеристик теплопередачи в нагруженных элементах цилиндрической крышки.

Теплоотдача в деталях судовых ДВС является сложным многофакторным процессом. Функция отклика для описания процесса теплообмена в исследуемых деталях известна и имеет вид

$$\text{Nu}_F = C \text{Re}^n \text{Pr}_1^m \left( \frac{\text{Pr}_1}{\text{Pr}_w} \right) F_1^{m_2} F_2^{m_3} F_3^{m_4}, \quad (1)$$

где  $F_1$  – функция формы канала;

$F_2$  – функция, учитывающая вариант гидрорежима;

$F_3$  – функция фазового перехода.

Математические связи между функцией отклика и рядом исследуемых факторов могут быть приняты на основе исследований и точных теоретических решений, в результате чего многофакторный процесс теплоотдачи можно рассматривать как однофакторный при выводе расчетных уравнений теплоотдачи в полостях охлаждения рассматриваемых деталей.

Анализ экспериментальной зависимости, коэффициента теплоотдачи в охлаждающую воду от её расхода  $\alpha_w = f(Q)$  указывает на ламинарный в целом характер гидрорежима в полости охлаждения. Для неизотермической поверхности при ламинарном течении зависимость числа  $\text{Nu}_x$  от ряда факторов А.А. Жукаускас [1] представляет в виде

$$\text{Nu}_x = C(\beta, n_1) \text{Re}_x^{0,5} \text{Pr}_0^m,$$

где  $\beta$  – угол раствора обтекаемого тела, рад;

$n_1$  – показатель при степенной неравномерности распределения температурного напора вдоль поверхности.

В результате расчётов установлено, что показатель степени при числе  $\text{Pr}$  изменяется в зависимости от  $\beta$  в интервале 0,37-0,25, для продольно обтекаемой пластины  $n$  составляет 0,33 [1]. Показатель степени зависит также от условий гидрорежима. Для ламинарного режима на основе аналитических решений число  $\text{Nu}$  пропорционально  $\sqrt[3]{\text{Pr}}$  [2]. В данном случае наблюдается сложное обтекание конической неизотермической оболочки. В зонах выхода струи из патрубков может иметь место обтекание по касательной либо под небольшим углом раствора при  $1 > \beta > 0$ . Следовательно, в рассматриваемом случае показатель  $n$  следует как для пластины принимать равным 0,33.

Теплообмен в круговых полостях и кольцевых каналах, где может сказываться эффект кривизны,  $F_1^{n_2}$  по данным [2] учитывается множителем  $(d_2/d_1)^{0,18}$ . Формула справедлива при  $d_2/d_1 = 1,2 - 1,4$  и  $\text{Pr}_f = 0,7 - 100$ . Следовательно, для учёта кривизны канала в критериальное уравнение целесообразно ввести множитель  $(d_2/d_1)^{0,18}$ .

Как известно на условия теплообмена оказывает влияние переменность физических параметров  $\lambda$ ,  $\mu$ ,  $c_p$ ,  $\rho$  в зависимости от температуры. Опытным путём установлено, что зависимость теплоотдачи капельных жидкостей от температурного напора и направления теплового потока можно приблизительно учитывать введением в уравнение подобия дополнительного множителя  $(\text{Pr}_f/\text{Pr}_w)^{0,25}$ . Эта поправка учитывает прежде всего влияние  $\mu = f(t)$  [3]. Для оценки достоверности показателя  $n_1 = 0,25$  были построены экспериментальные зависимости  $(\text{Pr}_f/\text{Pr}_w)$  от тепловой нагрузки для различных зон крышки двигателей RD76, RD90 при различных расходах жидкости, числах  $\text{Re}_f$ ,  $\text{Pr}_f/\text{Pr}_w = f(w)$  и постоянной эксплуатационной нагрузке. По опытным данным влияние теплового потока на  $\alpha_w$  оценено до 10%, среднее значение для крышки составляет около 7%, что позволяет использовать поправку без корректирования степени.

Учитывая результаты вышеназванных фундаментальных исследований и, имеющиеся опытные данные многофакторный процесс теплоотдачи для дизелей RD76, RD90 приведём к однофакторному виду

$$\text{Nu}_F = C \text{Re}_f^n \text{Pr}_f^{0,33} \left( \frac{\text{Pr}_f}{\text{Pr}_w} \right)^{0,25} \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^{0,18}. \quad (2)$$

Для определения влияния скорости охлаждающей среды на теплообмен возможно использование приведённого числа Нуссельта

$$Nu_{FPP} = C Re_f^n Nu_{fs} \quad (3)$$

В этой форме уравнение регрессии в логарифмических координатах должно соответствовать частному случаю корреляции близкой к линейной

$$\ln Nu_{FPP} = \ln C + n \ln Re_f \quad (4)$$

Выражение (4) запишем в виде  $Y = C_0 + nX$ . Коэффициенты регрессии  $n$ ,  $C_0$  и коэффициент корреляции  $r$  определялись по методике из работы [4] на основании опытных данных.

Исследования нагруженных элементов крышки цилиндра показали высокий уровень тепловой напряженности огневого днища крышек штатной конструкции, а также его локальную перенапряженность.

Высокое термическое сопротивление при большой толщине стенок не позволяет интенсифицировать охлаждение деталей увеличением расхода жидкости. Радикальной мерой уменьшения тепловой напряженности является поиск путей интенсификации зонального охлаждения цилиндрических крышек изменением гидрорежима. Полость охлаждения цилиндрических крышек двигателей типа RD представляет осесимметричный канал с конусообразной стенкой. Толщина огневой доски мала по сравнению с диаметром конической оболочки ( $d_1/d_2 = 1,1-1,2$ ), поэтому её допустимо рассматривать как плоскую стенку. Вокруг точек измерения можно пренебречь изменением температуры по окружности конической части и считать тепловой поток одномерным. В результате измерения температур на обеих сторонах огневой доски и определения тепловых потоков получена практически линейная зависимость  $t_1, t_2 = f(\Delta t/\Delta n)$ , что подтверждает точность выполненных измерений. На цилиндрической крышке двигателя 6RD76 два патрубка ввода жидкости, расположены в плоскости «борт-борт», турбулизируют зоны охлаждения в плоскости «нос-корма». На двигателе 9RD90 четыре патрубка. В зонах действия струи коэффициент теплоотдачи усиливается за счёт дополнительной активизирующей турбулентной составляющей  $\alpha_{wm}$ . Локальное значение коэффициента теплоотдачи представляется суммой

$$\alpha_{wi} = \alpha_{wn} + \alpha_{wm},$$

где  $\alpha_{wi}$  – текущее значение коэффициента теплоотдачи;

$\alpha_{wn}$  – усреднённое значение коэффициента теплоотдачи;

$\alpha_{wm}$  – активизирующее турбулентное приращение.

Активизирующие составляющие переменны по величине и достигают максимальных значений в месте контакта струи патрубка с конической оболочкой крышки. Влияние струи по данным измерений может распространяться на поверхность, соответствующую углу 40-60°. Для исследуемой штатной крышки главного судового дизеля 6RD 76 среднеарифметическое значение коэффициента теплоотдачи определяется из выражения

$$\alpha_{wcp} = 0,25 \left[ \left( \alpha_{wn} + \alpha'_{wm(n)} \right) + \left( \alpha_{wn} + \alpha'_{wm(k)} \right) + \alpha_{wn(n)} + \alpha_{wn(n)} \right].$$

По результатам измерений получено  $\alpha_{wn} = 2000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Максимальная турбулентная составляющая при числе Re струи в патрубке  $315 \cdot 10^3$ , для двух вводов  $\alpha'_{wm(\max)} = 1700 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Для подобного двигателя 9RD90 измерения проводились в восьми точках крышки. Для оценки влияния схемы гидрорежима на условия охлаждения цилиндрических крышек дизелей 6RD76, 9RD90 исследовались различные варианты подключения патрубков водяных входов с сохранением неизменной их суммарной проходной площади. Исследования показали, что дробление вводов жидкости выравнивает распределение коэффициента теплоотдачи  $\alpha_w = f(\varphi)$ , но не изменяет его среднего значения, при неизменном расходе жидкости.

Увеличение скорости жидкости в патрубке при неизменном расходе с установкой сопел повышает кинетическую энергию струи и скорость вращения потока. В эксперименте на дизеле 9RD90 в штатные патрубки 2×50 мм устанавливали сопла. Значение  $\alpha_w$  в каждой точке измерений рассчитывалось как среднеарифметическое на режимах эксплуатационных и повышенных нагрузок. Во всех зонах произошло увеличение  $\alpha_w$  на 9-11%. В результате возрастания энергии потока увеличение среднего значения  $\alpha_{wn}$  составило 9,0-10,5%, турбулентной составляющей 4,5-6,5%. Температура стенок огневого днища с газовой стороны понизилась на 25-35 °С. Со стороны охлаждения отмечено понижение в среднем на 20 °С.

Аналогичное увеличение  $\alpha_w$  на 9-11% возможно при повышении скорости охлаждающей жидкости или её расхода на 22%. Таким образом, применение сопла позволяет интенсифицировать теплообмен в полости охлаждения крышки дизеля 9RD90 без увеличения подачи водяных насосов в существующих системах охлаждения, повысить надёжность работы цилиндрических крышек.

Модернизированные крышки прошли длительные испытания при работе в тяжелых условиях эксплуатации дизелей 6RD76, 9RD90.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Жукаускас, А.А. Конвективный перенос в теплообменниках / А.А. Жукаускас. -М.: Наука, 1982. -471 с.

2 Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. -М.: Энергоиздат, 1981. -417 с.

3 Михеев, М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. -М.: Энергия, 1977, -343 с.

4 Батурин, Л.М. Математические методы в химической технике / Л.М. Батурин, М.Е. Позин. -Л.: Химия, 1971. -823 с.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* тепловая напряженность, цилиндрические крышки

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* Векслер Юрий Евсеевич, старший научный сотрудник ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:* 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

## СТОХАСТИЧЕСКАЯ ЯЧЕЙСТАЯ МОДЕЛЬ ОЧИСТКИ ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДВС ФИЛЬТРОВАНИЕМ

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»

**Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Голенищев**

### STOCHASTIC CELLULAR MODEL OF CLEANING FUEL-LUBRICANT MATERIALS OF ICE WITH FILTRATION

«Maritime State University named adm. G.I. Nevel'skoi»

G.P. Kicha, B.N. Perminov, A.V. Golenishev

The stochastic cellular model of cleaning ILM (fuel-lubricant materials) by strainers, fibrous and filter structure is shown. The compressed moving of non single in interaction polydispersion particulate matters in stressed wall effective flow with a condition dispersive fibrous with a shape of cylinder and spherical is examined. A principal construction of riddling dispersed phases, stochastization of process, and limited of heat diffusion of particulate matters is taken into account in modeling of cleaning lubrication oil and fuel oil from mechanical additions.

Представлена стохастическая ячейчатая модель очистки горюче-смазочных материалов сетчатыми, волоконными и гранулированными фильтровальными структурами. Рассмотрено стесненное с учетом пристенных эффектов движение не одиночных, а взаимодействующих полидисперсных частиц при возмущенном обтекании дисперсионной средой волокна в форме цилиндра и сферы. При моделировании очистки топлив и масел от механических примесей учтены основные механизмы отсева дисперсной фазы, стохастичность процесса, обусловленная тепловой диффузией частиц.

При расчете эффективности фильтрования горюче-смазочных материалов (ГСМ) в ДВС необходимо учитывать стохастическую природу процессов разделения сложных многофазных дисперсных систем [1, 2]. Поэтому отсев дисперсной фазы (ДФ) рассмотрен как случайный процесс. Учтены флуктуации, вызываемые броуновским перемещением мелких частиц, стесненностью движения и формой их, а также обусловленные влиянием пристенных эффектов и взаимодействием при осаждении. Кроме того, стохастичность процессов фильтрования может быть вызвана пульсациями потоков при входе дисперсионной среды в очиститель.

Для оценки эффективности разделения была использована методика, позволяющая сочетать достоинства точного детерминированного описания механизмов очистки и стохастического представления явлений, сопровождающих эти процессы. Одновременный учет детерминированного и случайного воздействия на ДФ при фильтровании технических суспензий затруднен и в существующих расчетных схемах не используется. Нами реальное флуктуационное разделение гетерогенных систем было сведено к процессу без последствий, что

позволило применить для его исследования хорошо разработанный аппарат случайных марковских процессов.

Такой подход обоснован тем, что внешние случайные воздействия на ДФ являются дельта-коррелированной функцией времени с нулевым средним значением. Для рассматриваемых процессов время корреляции флуктуаций очень мало по сравнению со временем релаксации, поэтому внешняя возмущающая сила может быть охарактеризован как «белый шум». Такая предпосылка весьма правдоподобна и подтверждена опытом центрифугирования и близких к ним разделительных процессов [1, 2].

В общем случае многомерному процессу  $\vec{r}(\tau)$  переноса частиц в поровом пространстве или в центробежном поле соответствует система стохастических уравнений с компонентами  $x_i(\tau)$ :

$$\frac{dx_i}{d\tau} = F_i(\vec{r}, \tau) + f_i(\vec{r}, \tau); (i = 1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

где  $F_i, f_i$  – детерминированные и случайные воздействия на частицы ДФ.

Компоненты  $x_i(\tau)$  случайной функции  $\vec{r}(\tau)$  представляют собой обобщенные координаты системы либо совокупность координат и скоростей.

Так как для большинства разделительных процессов  $\langle f_i(\vec{r}, \tau) \rangle = 0$  а  $\langle f_i(\vec{r}, \tau) + f_j(\vec{r}, \tau + t) \rangle = B_{ij}(\vec{r}, \tau) \delta(\tau)$  то выражению (1) соответствует уравнение Колмогорова-Фоккера-Планка

$$\frac{\partial W(\vec{r}, \tau)}{\partial \tau} = \sum \frac{\partial [QA_i(\vec{r}, \tau)W(\vec{r}, \tau)]}{\partial x_i} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} \frac{\partial^2 [QB_{ij}(\vec{r}, \tau)W(\vec{r}, \tau)]}{\partial x_i \partial x_j}. \quad (2)$$

где  $A_i = (\vec{r}, \tau), B_{ij}(\vec{r}, \tau)$  – систематические изменения  $x_i$  и дисперсии  $n$ -мерного вектора  $\vec{r}(\tau)$ ;

$Q$  – метрика векторного пространства;

$B_{ij}$  – множитель в функции корреляции случайной силы, характеризующей интенсивность случайных воздействий на ДФ;

$\delta(\tau)$  – дельта-функция Дирака.

Применительно к задачам разделения плотность вероятности  $W(\vec{r}, \tau)$  отождествляется с относительной концентрацией ДФ в элементарном объеме  $n$ -мерного фазового пространства. Задачей очистки является определение вероятности достижения частицей границ заданного фазового пространства или уноса ее.

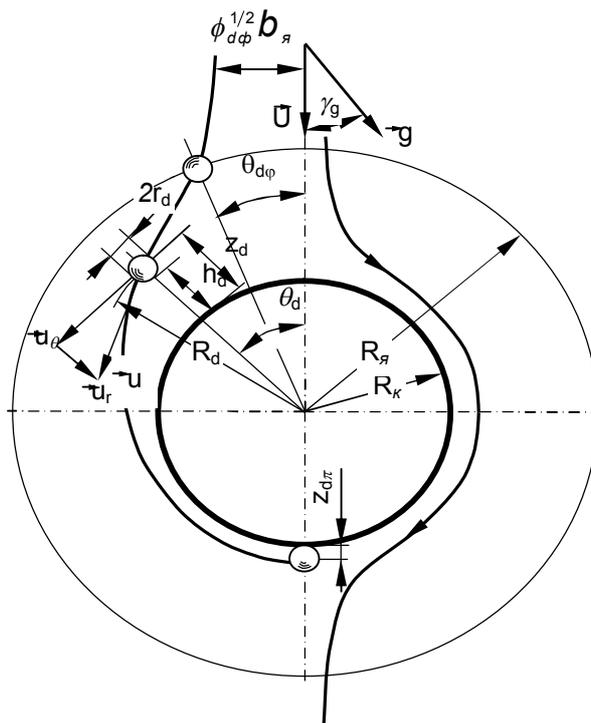


Рисунок – Схема ячеистой модели фильтрования

Гидродинамическую обстановку при движении коллоидной среды через поровую структуру фильтра описывали с использованием аппарата тензорного анализа. Стесненное движение нерастворимых загрязнений в ГСМ рассматривали с учетом пристенных эффектов, а также взаимодействия частиц в зависимости от их концентрации и состава ДФ. Осаждение частиц исследовали путем составления векторного уравнения основных сил, приложенных к твердой частице в потоке вязкой несжимаемой жидкости.

Рассмотрим возможности разработанного подхода на примере ячеистой модели фильтрования, которая характерна для большинства фильтровальных перегородок: тканых сеток, металлокерамики, насыпных гранулированных и нетканых волоконных фильтровальных материалов (ФМ). Ячейка (рисунок) в виде коллектора радиусом  $R_k$  с прилегающей оболочкой  $R_j$  усредненно характеризует поровую структуру, так как ее параметры определяются через пористость  $m$  ФМ:  $R_j = R_k(1-m) - 1/3$ , (поровая структура формируется сферическими коллекторами),  $R_j = R_k(1-m) - 1/2$  (цилиндрическими).

Приняв во внимание радиальную  $r$  и угловую  $\theta$  координаты сферической системы (см. рисунок 1) и обозначив  $ur$  и  $u\theta$  компоненты скорости частицы, согласно выражению (2) получим

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = -\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 u_r W) - \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} (u_\theta W \sin \theta) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 D_r \frac{\partial W}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( D_\theta \sin \theta \frac{\partial W}{\partial \theta} \right), \quad (3)$$

где  $D_r, D_\theta$  – коэффициент диффузии в радиальном и тангенциальном направлениях определяются по соотношению Эйнштейна через температуру  $T$  и вязкость  $\mu$  среды и постоянную Больцмана  $k_B$

$$D_r = D_\theta = \frac{k_B T}{6\pi \mu r_d}.$$

Диффузионным переносом частиц в направлении  $\theta$  можно пренебречь. Тогда стационарный процесс фильтрования для ячейки со сферическим коллектором в безразмерном виде запишется следующим образом

$$\begin{cases} -\frac{\partial}{\partial \bar{r}} (\bar{r}^2 \bar{u}_r W) - \frac{\bar{r}}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} (\bar{u}_\theta W \sin \theta) + 2 \frac{\partial}{\partial \bar{r}} \left( \bar{r}^2 \bar{D}_r \frac{\partial W}{\partial \bar{r}} \right) = 0; \\ W|_{\bar{r}=\bar{R}_k} = 0, W \rightarrow 1 \text{ при } \bar{r} \rightarrow \infty. \end{cases} \quad (4)$$

где  $\bar{D}_r = \frac{D_r}{2Ur_d} = \frac{1}{Pe_D}$ ;  $\bar{u}_r = \frac{u_r}{U}$ ;  $\bar{u}_\theta = \frac{u_\theta}{U}$ ;  $\bar{r} = \frac{r}{r_d}$ ;  $\bar{R}_k = \frac{R_k}{r_d}$ ;  $\bar{R}_j = \frac{R_j}{r_d}$ ;

$U$  – скорость набегающего потока.

Эффективность фильтрования определяется потоком вероятности на коллектор по формуле

$$\varphi_{d\phi} = 2 \left( \frac{R_k}{R_j} \right)^2 \int_0^{2\pi} \left( -\bar{u}_r W + 2\bar{D}_r \frac{\partial W}{\partial \bar{r}} \right)_{\bar{r}=\bar{R}_k} \sin \theta d\theta. \quad (5)$$

Полноту отсева находили по заданному дисперсному составу загрязнителя  $F(d)$

$$\phi\phi = \int_0^{d_{\max}} \varphi_{d\phi} F(d) dd. \quad (6)$$

Стационарному стохастическому процессу фильтрования посредством ячеистой модели с коллектором в форме цилиндра согласно (2) поставлено в соответствие следующее уравнение Колмогорова-Фоккера-Планка

$$\begin{cases} -\frac{\partial}{\partial \bar{r}} (\bar{r} \bar{u}_r W) - \frac{\partial}{\partial \theta} (\bar{u}_\theta W) + 2 \frac{\partial}{\partial \bar{r}} \left( \bar{r} \bar{D}_r \frac{\partial W}{\partial \bar{r}} \right) = 0; \\ W|_{\bar{r}=\bar{R}_k} = 0, W = 1 \text{ при } \bar{r} \rightarrow \infty. \end{cases} \quad (7)$$

Фракционный коэффициент отсева при симметричном поперечном обтекании цилиндра суспензией определяли по выражению

$$\varphi_{d\phi} = \frac{\bar{R}_k}{R_j} \int_0^\pi \left( -\bar{u}_r W + 2\bar{D}_r \frac{\partial W}{\partial \bar{r}} \right)_{\bar{r}=\bar{R}_k} d\theta. \quad (8)$$

Силы и моменты, действующие на частицу ДФ в координатных направлениях, должны находиться в равновесии. Вследствие симметрии задачи силы проявляются только в направлении  $r$  и  $\theta$ , вектор момента – нормально к плоскости чертежа (см. рисунок 1). С учетом внешних сил  $\vec{F}_{Ad}, \vec{F}_{DL}, \vec{F}_g, \vec{F}_A$  уравнение равновесия сил и моментов можно записать в виде / символами  $F, f$  и  $T, t$  обозначены силы и моменты вязкого сопротивления, действующие соответственно на движущуюся частицу в неподвижной среде и неподвижную частицу в движущейся жидкости. Верхние индексы расшифрованы в работе [2] /.

$$\begin{cases} F_r^n + F_r^t + F_r^r + f_r^s + f_r^l + f_r^p + F_{Adr} + F_{DLr} + F_{gAr} = 0; \\ F_\theta^n + F_\theta^t + F_\theta^r + f_\theta^s + f_\theta^l + f_\theta^p + F_{gA\theta} = 0; \\ T^n + T^t + T^r + t^s + t^l + t^p = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Для сил и моментов, действующих на частицу в неограниченном потоке при низших числах Рейнольдса, Стоксом получены выражения,  $\vec{F}_c = 6\pi \mu r_d \vec{u}$ ,  $\vec{T}_c = 8\pi \mu r_d^3 \vec{\omega}$ . Если пренебречь инерцией жидкости и частицы, задача оценки эффектов вязкости при движении ДФ будет линейной, т.е. возможна суперпозиция некоторых решений [3].

Вандерваальсова сила молекулярного притяжения между частицей и коллектором в радиальном направлении равна [3]

$$\vec{F}_{Ad} = \frac{2Q_r r_d^3}{3h_d^2 (2r_d + h_d)^2} \vec{e}_r,$$

где  $h_d$  – расстояние (см. рисунок 1) между поверхностями частицы и коллектора;

$Q_r$  – постоянная Гамакера.

Силу взаимодействия двойного электрического слоя сферы (цилиндра) и частицы можно выразить через их поверхностные потенциалы  $\xi_k$  и  $\xi_d$ .

В нашем случае влияние электрокинетических эффектов в значительной мере обусловлено присадками и продуктами старения моторного масла, поэтому взаимодействие следует считать химмотологическим

$$\vec{F}_{DL} = \frac{\varepsilon r_d k_D (\xi_k^2 + \xi_d^2)}{2} \left[ \frac{2\xi_k \xi_d}{\xi_k^2 + \xi_d^2} - \exp(k_D h_d) \right] \frac{\exp(-k_D h_d) \vec{e}_r}{1 - \exp(-2k_D h_d)},$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость дисперсионной среды;

$k_D$  – обратная длине Дебая-Хаккеля величина, она определяется через заряд электрона  $e$ , ионную валентность  $z_s$  и концентрацию ионов по выражению

$$k_D = \sqrt{\frac{8\pi e^2 c_s z_s}{\varepsilon k_B T}}.$$

Сумму силы тяжести и подъемной находим, задав направление вектора  $\vec{g}$  относительно ячейки

$$\vec{F}_g + \vec{F}_A = \frac{4}{3} \pi r_d^3 \rho_{эф} g \left[ \sin(\gamma_g + \theta_d) \vec{e}_\theta - \cos(\gamma_g + \theta_d) \vec{e}_r \right],$$

где  $\rho_{эф}$  – эффективная плотность частицы,

$$\rho_{эф} = \rho_d - \rho.$$

Поле скорости рассчитывали по уравнению Стокса для медленного обтекания сферы. Уравнение ползучего течения решали на основе граничных условий непротекания при соприкосновении с коллектором, равенства нулю радиальной скорости потока и касательных напряжений на боковых границах жидкой ячейки. При этих условиях функция тока приняла вид [3]

$$\psi_c = \frac{U}{2} R_k^2 \sin^2 \theta \left( \frac{K_1}{r} - K_2 r + K_3 r^2 + K_4 r^4 \right). \quad (10)$$

Коэффициенты  $K_1 - K_4$  зависят от пористости ФМ:

$$\begin{cases} P_m = (1 - m)^{1/3}; w_m = 2 - 3P_m + 3P_m^5 - 2P_m^6; K_1 = w_m^{-1}; \\ K_2 = -(3 + 2P_m^5)/w_m; K_3 = (2 + 3P_m^5)/w_m; K_4 = -P_m^5/w_m. \end{cases} \quad (11)$$

Течение симметрично относительно вертикальной оси (см. рисунок 1). Скорость жидкости при обтекании сферического коллектора может быть получена из выражения (10) с уче-

том формул (11)

$$\vec{v} = -\left(\frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \psi_c}{r \partial \theta} \vec{e}_r\right) + \left(\frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \psi_c}{\partial r}\right) \vec{e}_\theta. \quad (12)$$

Радиальную  $v_r$ , тангенциальную  $v_\theta$  скорости определяли по уравнениям:

$$\begin{cases} v_r = -U \cos \theta \left( \frac{K_1 R_k^3}{r^3} + \frac{K_2 R_k}{r} + K_3 + \frac{K_4 r^2}{R_k^2} \right); \\ v_\theta = U \sin \theta \left( -\frac{K_2 R_k^3}{2r^3} + \frac{K_2 R_k}{2r} + K_3 + \frac{2K_4 r^2}{R_k^2} \right). \end{cases} \quad (13)$$

Поле скорости (13) аппроксимировали полиномами второй степени [2]

$$\vec{v} = -A^s z^2 \vec{e}_r + (A_y^s y z + B^l z + C^p z^2) \vec{e}_\theta, \quad (14)$$

где

$$A^s = \frac{\bar{A}^s U \cos \theta}{R_k^2}; A_y^s = \frac{\bar{A}^s U \sin \theta}{R_k^2}; B^l = \frac{\bar{B}^l U \sin \theta}{R_k^2}; C^p = \frac{\bar{C}^p U \sin \theta}{R_k^2};$$

$$\bar{A}^s = \bar{B}^l = \frac{3(1 - P_m^5)}{W_m}; \bar{C}^p = \frac{3(1 - 4P_m^5)}{W_m}; y = r(\theta - \theta_d).$$

Приближенное поле скорости жидкости есть суперпозиция ранее найденных частных решений [3] по скорости заторможенного потока в направлении нормали и тангенциальном к поверхности коллектора (первое и второе слагаемые уравнения (14)), линейного и параболического полей сдвигового течения (соответственно третье и четвертое слагаемые).

Проецируя на  $r$  и  $\theta$  выраженные вышеприведенными формулами внешние силы совместно с компонентами  $\vec{F}_c$  и  $\vec{T}_c$  из уравнений системы (9) после приведения к безразмерному виду имеем

$$\begin{cases} N_{DL} \left\{ E_{kd} - \exp[-E_{DL}(\bar{z}_d - 1)] \right\} \frac{\exp[E_{DL}(\bar{z}_d - 1)]}{1 - \exp[-2E_{DL}(\bar{z}_d - 1)]} - \\ - \frac{N_{Ad}}{(\bar{z}_d - 1)^2 + (\bar{z}_d + 1)^2} - N_{gA} \cos(\gamma_g + \theta_d) - \bar{F}_r^n \bar{u}_r - \bar{f}_r^s \bar{A}^s \bar{z}_d^2 \bar{r}_d^2 \cos \theta_d = 0; \\ N_{gA} \sin(\gamma_g + \theta_d) - \bar{F}_\theta^l \bar{u}_\theta + \bar{F}_\theta^r \bar{\omega}_d + \bar{f}_\theta^l \bar{B}^l \bar{z}_d \bar{r}_d \sin \theta_d + \bar{f}_\theta^p \bar{C}^p \bar{z}_d^2 \bar{r}_d^2 \sin \theta_d = 0; \\ \bar{T}^l \bar{u}_\theta - \bar{T}^r \bar{\omega}_d + \bar{t}^l \bar{B}^l \bar{z}_d \bar{r}_d \sin \theta_d + \bar{t}^p \bar{C}^p \bar{z}_d^2 \bar{r}_d^2 \sin \theta_d = 0. \end{cases} \quad (15)$$

В системе (15):

– адгезионная  $N_{Ad} = \frac{Q_r}{9\pi \mu r_d^2 U};$

– химмотологическая  $N_{DL} = \frac{\varepsilon k_d (\xi_k^2 + \xi_d^2)}{12\pi \mu U};$

– гравитационная  $N_{gA} = \frac{2r_d^2 (\rho_d - \rho) g}{9\pi \mu U},$

группы являются соответственно отношением вандерваальсовых, электрокинетических двойного слоя и гравитационной сил к силе вязкого сопротивления. Электрокинетический симплекс

$$E_{kd} = \frac{2\xi_k \xi_d}{(\xi_k^2 + \xi_d^2)},$$

зависит от потенциалов коллектора и частицы. Симплекс двойного слоя  $E_{DL} = k_D r_d$  использован для представления  $F_{DL}$  в безразмерном виде.

Решив систему (15) относительно  $\bar{u}_r$  и  $\bar{u}_\theta$  получим выражение для скорости движения частицы при обтекании суспензией коллектора:

$$\bar{u}_r = \frac{1}{\bar{F}_r^n} \left\langle \frac{N_{DL} \left\{ E_{kd} - \exp[-E_{DL}(\bar{z}_d - 1)] \right\} \frac{\exp[-E_{DL}(\bar{z}_d - 1)]}{1 - \exp[-2E_{DL}(\bar{z}_d - 1)]} - \frac{N_{Ad}}{(\bar{z}_d - 1)^2 + (\bar{z}_d + 1)^2} - N_{gA} \cos(\gamma_g + \theta_d) - \bar{f}_r^s \bar{A}^s \bar{z}_d^2 \bar{r}_d^2 \cos \theta_d}{\dots} \right\rangle; \quad (16)$$

$$\bar{u}_\theta = \frac{\sin \theta_d}{\bar{T}^r \bar{F}_\theta^r - \bar{T}^i \bar{F}_\theta^i} \left[ \frac{\bar{T}^r N_{gA} \sin(\gamma_g + \theta_d)}{\sin \theta_d} + \bar{B}^i \bar{z}_d \bar{r}_d (\bar{T}^r \bar{F}_\theta^r + \bar{F}_\theta^i \bar{t}^i) + \bar{C}^p \bar{z}_d^2 \bar{r}_d^2 (\bar{T}^r \bar{F}_\theta^p + \bar{F}_\theta^i \bar{t}^p) \right]. \quad (17)$$

Расчет  $\bar{u}_r$  и  $\bar{u}_\theta$  при стесненном обтекании цилиндра может быть произведен по уравнениям (16) и (17) с заданием  $\bar{A}^s = 2A_u$ ;  $\bar{B}^i = 4A_u$  и  $\bar{C}^p = 0$ .

Коэффициенты получены по функции тока

$$\psi_u = 2A_u U \frac{(r - R_k)^2}{R_k} \sin \theta$$

Величина  $A_u$  представлена через пористость ФМ

$$A_u = \left[ 2(1 - m) - \ln(1 - m) - \left[ 3 + (1 - m)^2 \right] / 2 \right]^{-1}.$$

Проверка эффективности ячеистой стохастической модели фильтрации на различных ФМ показала ее адекватность [2]. Задерживающая способность гранулированных фильтровальных структур, волоконных материалов и проволочных сеток различных форм переплетения при отфильтровывании мелкодисперсного загрязнителя удовлетворительно описывается моделями (4) и (7) по выражениям (5) и (8).

Анализ полученных моделей показал возможность использования аппарата марковских процессов разработанных моделей для расчета и синтеза фильтровальных структур с заданными свойствами и выбора наиболее рациональных режимов их функционирования в зависимости от характеристик ДФ загрязнений ГСМ. Полученные модели дают возможность обосновать новые принципы очистки и направлено формировать поровую структуру ФМ с целью интенсификации очистки нефтепродуктов и синтетических смазочных материалов в системах топливо- и маслоподготовки кораблей и судов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кича, Г.П. Стохастическая модель процесса центрифугирования моторного масла в СЭУ // Г.П. Кича, Ю.И. Загородников, О.В. Осипов // Повышение уровня технической эксплуатации дизелей речного флота: Тр. НИИВТ. -Новосибирск, 1988. -С. 126-139.

2 Кича, Г.П. Теоретические основы расчета и интенсификации очистки топлив и масел в ДВС фильтрованием / Г.П. Кича // Двигателестроение. -1986. -№5. -С. 25-29.

3 Tichy, J.A. A model of lubrication filtration / J.A. Tichy // Trans. ASME, J. Lubric. Technol. - 1981. -Vol.103, №1. -P. 81-89.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *очистка горюче-смазочных материалов, фильтрация*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Кича Геннадий Петрович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм.*

*Г.И. Невельского»*

*Перминов Борис Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм.*

*Г.И. Невельского»*

*Голенищев Андрей Владимирович, заведующий лабораторией ФГОУ ВПО «МГУ им. адм.*

*Г.И. Невельского»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм.*

*Г.И. Невельского»*

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ИСКАЖЕНИЯ РЕЖИМОВ ВИБРАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ В ТРАНСПОРТНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Ю.А. Можяев

ANALYTICAL RESEARCH OF THE REASONS OF DISTORTION OF CONDITIONS OF VIBRATIONAL TRIALS IN TRANSPORT MACHINE IN DUSTRY

«Novosibirsk state technical university»

Yu.A. Mozhaev

Analytical researches of the reasons of distortion of set program movement of a mobile part of the vibrating stand presented by mathematical model of the turned physical pendulum on elastic elements are carried out.

Проведены аналитические исследования причин искажения задаваемого программного движения подвижной части вибровозбудителя, представленной математической моделью перевёрнутого физического маятника на упругом подвесе.

Срок эксплуатации и надёжность транспортных средств прежде всего связана с эффективностью аппаратуры, которая входит в состав движущихся объектов. Так как аппаратура в реальных условиях подвержена различного рода нагрузкам, то проводятся её наземные испытания. Основное внимание уделяется вибрационным испытаниям. Вибрационные испытания используются в судостроении, самолётостроении, автомобильной промышленности.

Главной задачей является повышение уровня достоверности вибрационных испытаний. В высокочастотном диапазоне виброиспытаний подвижная часть вибровозбудителя и испытуемое изделие представляют собой сложную колебательную систему со многими степенями свободы. При этом данную механическую систему будем представлять динамической моделью абсолютно твёрдого тела представленного в форме перевёрнутого физического маятника, содержащего внутри осциллятор, находящийся на оси симметрии.

Схема рассматриваемой нами системы представлена на рисунке 1. Упругие характеристики точки подвеса линейны и подчиняются закону Гука. Линейный и угловой коэффициент жёсткости  $k_\phi$ , а также линейный демпфирующий элемент с коэффициентом демпфирования  $c_\phi$  постоянен. Дополнительная масса  $m$  удалена от оси подвеса на расстояние  $l$ , а также связана с маятником упругим элементом жёсткости  $k_z$  и линейным демпфирующим элементом  $c_z$ . Маятник имеет массу  $M$ , момент инерции относительно центра тяжести  $I$  и длину  $h_c$  (расстояние от точки подвеса  $O$  до центра тяжести  $C$ ). Считается, что ось маятника  $O$  совершает периодические колебания в вертикальном направлении по периодическому закону  $\ddot{y} = f(\Omega t)$  соответственно с периодом  $2\pi/\Omega$ . Обобщёнными координатами системы являются угол отклонения маятника от вертикали  $\phi$  и отклонение  $z$  массы  $m$  от положения внутри маятника, соответствующего статическому равновесию упругих элементов.

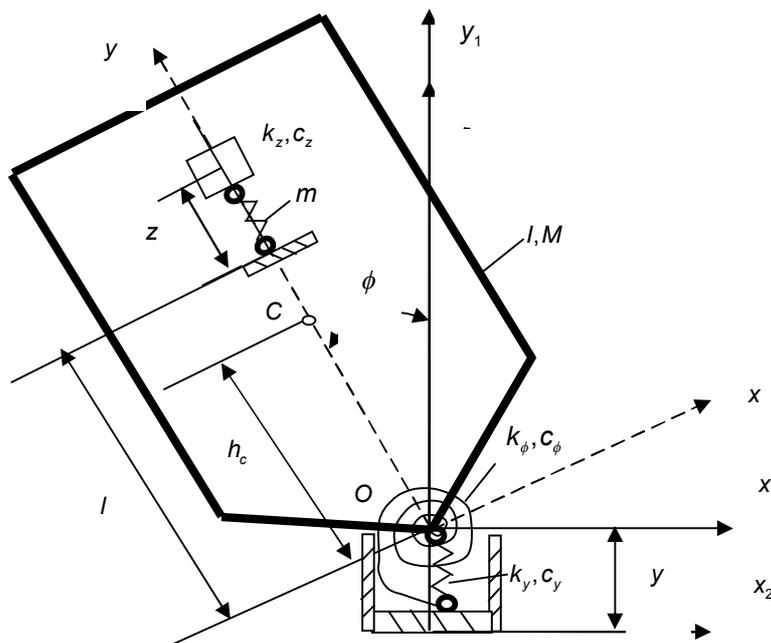


Рисунок 1 – Схема системы

Уравнения движения описанной системы, полученные методом обобщённых сил [1] и проверенные по Лагранжу и Нильсену [2], в представлении взаимодействующих движений имеют вид:

$$\begin{cases} (I_0 + m(l+z)^2)\ddot{\phi} + c_\phi\dot{\phi} + k_\phi\phi = -2mz\dot{\phi}(l+z) + (Mh_c + ml + mz)\ddot{y}\sin(\phi) + (Mh_c + ml + mz)g\sin(\phi); \\ \ddot{z} + 2\delta_z\dot{z} + \omega_z^2z = -\ddot{y}\cos(\phi) - g\cos(\phi) + \dot{\phi}^2(l+z); \\ \ddot{y} = -\ddot{y}_0\cos(\tau), \tau = \Omega t, \dot{y}_0 = \text{Const.} \end{cases} \quad (1)$$

Здесь обозначено

$$\omega_z^2 = \frac{k_z}{m}; \delta_z = \frac{c_z}{2m}; I_0 = I + 2ml^2. \quad (2)$$

Воспользуемся для решения задачи методом прямого разделения движений [3]. В этом

случае уравнения движения (1) можно привести к форме Коши

$$\ddot{\phi} = F_{\phi}(\dot{\phi}, \phi, \dot{z}, z) + \Omega \Phi_{\phi}(\phi, z, \tau); \ddot{z} = F_z(\dot{\phi}, \phi, \dot{z}, z) + \Omega \Phi_z(\phi, z, \tau), \quad (3)$$

где

$$F_{\phi} = \frac{-c_{\phi} \dot{\phi} - k_{\phi} \phi - 2m\dot{z}\dot{\phi}(l+z) + (Mh_c + ml + mz)g \sin(\phi)}{(I_0 + m(l+z)^2)};$$

$$F_z = -2\delta_z \dot{z} - \omega_z^2 z - g \cos(\phi) + \dot{\phi}^2(l+z); \quad (4)$$

$$\Phi_{\phi} = -\frac{(Mh_c + ml + mz)\ddot{y}_0 \cos(\tau) \sin(\phi)}{(I_0 + m(l+z)^2)}; \Phi_z = \ddot{y}_0 \cos(\tau) \cos(\phi).$$

В вибрационной механике принято называть [3]  $F_{\phi}, F_z$  – медленными, а  $\Phi_{\phi}, \Phi_z$  – быстрыми силами по соответствующим обобщённым координатам,  $\tau$  – быстрым временем,  $t$  – медленным временем.

Следуя этому методу, решение системы (1) будем искать в виде

$$\phi = \alpha(t) + \psi_{\alpha}(t, \tau); z = Z(t) + \psi_z(t, \tau), \quad (5)$$

здесь  $\alpha, Z$  – «медленные», а  $\psi_{\alpha}, \psi_z$  – «быстрые» составляющие, с периодом  $2\pi$  – по быстрому времени  $\tau = \Omega t$ , причём их средние по  $\tau$  значения равны нулю

$$\langle \psi_{\alpha}(t, \tau) \rangle = 0; \langle \psi_z(t, \tau) \rangle = 0. \quad (6)$$

Так как

$$\langle \Phi_{\phi} \rangle \Big|_{\substack{\phi=\text{const} \\ z=\text{const}}} = 0; \langle \Phi_z \rangle \Big|_{\substack{\phi=\text{const} \\ z=\text{const}}} = 0, \quad (7)$$

то уравнения быстрых движений, согласно [3] запишутся в виде

$$\Omega^2 \ddot{\psi}_{\alpha} + 2\delta_{\phi} \dot{\psi}_{\alpha} + \omega_{\phi}^2 \psi_{\alpha} = \Omega^2 \Phi_{\phi}(\alpha, Z, \tau); \Omega^2 \ddot{\psi}_z + 2\delta_z \dot{\psi}_z + \omega_z^2 \psi_z = \Omega^2 \Phi_z(\alpha, Z, \tau). \quad (8)$$

Периодическим решением этих уравнений при замороженных  $\alpha$  и  $Z$  будет

$$\psi_{\alpha} = A_{\phi} \sin(\tau) + B_{\phi} \cos(\tau); \psi_z = A_z \sin(\tau) + B_z \cos(\tau). \quad (9)$$

где  $A_{\phi} = -\Phi_{A\phi} \frac{\ddot{y}_0}{\omega} \sin(\alpha) \frac{(Mh_c + m(l+Z))}{(I_0 + m(l+Z)^2)}; A_z = \Phi_{Az} \frac{\ddot{y}_0}{\omega} \cos(\alpha); B_{\phi} = -\Phi_{B\phi} \frac{\ddot{y}_0}{\omega} \sin(\alpha) \frac{(Mh_c + m(l+Z))}{(I_0 + m(l+Z)^2)};$

$$B_z = \Phi_{Bz} \frac{\ddot{y}_0}{\omega} \cos(\alpha); \Phi_{Az} = \frac{2D_z \eta_z^3}{(1-\eta_z^2)^2 + 4D_z^2 \eta_z^2}; \Phi_{Bz} = \frac{\eta_z^2(1-\eta_z^2)}{(1-\eta_z^2)^2 + 4D_z^2 \eta_z^2}; \Phi_{A\phi} = \frac{2D_{\phi} \eta_{\phi}^3}{(1-\eta_{\phi}^2)^2 + 4D_{\phi}^2 \eta_{\phi}^2}; \quad (10)$$

$$\Phi_{B\phi} = \frac{\eta_{\phi}^2(1-\eta_{\phi}^2)}{(1-\eta_{\phi}^2)^2 + 4D_{\phi}^2 \eta_{\phi}^2}; D_z = \frac{\delta_z}{\omega_z}; \eta_z = \frac{\Omega}{\omega_z}; D_{\phi} = \frac{\delta_{\phi}}{\omega_{\phi}}; \eta_{\phi} = \frac{\Omega}{\omega_{\phi}}.$$

В нашем случае выражения для вибрационных сил будут иметь вид:

$$V_{\alpha} = \left\langle F_{\phi} \left( \dot{\alpha} + \frac{\partial \psi_{\alpha}}{\partial \tau}, \alpha, \dot{Z} + \frac{\partial \psi_{\alpha}}{\partial \tau} \right) - F_{\phi}(\dot{\alpha}, \alpha, \dot{Z}, Z) \right\rangle + \left\langle \frac{\partial \Phi_{\phi}}{\partial \alpha} \psi_{\alpha} \right\rangle + \left\langle \frac{\partial \Phi_{\phi}}{\partial Z} \psi_z \right\rangle;$$

$$V_z = \left\langle F_z \left( \dot{\alpha} + \frac{\partial \psi_{\alpha}}{\partial \tau}, \alpha, \dot{Z} + \frac{\partial \psi_z}{\partial \tau} \right) - F_z(\dot{\alpha}, \alpha, \dot{Z}, Z) \right\rangle + \left\langle \frac{\partial \Phi_z}{\partial \alpha} \psi_{\alpha} \right\rangle + \left\langle \frac{\partial \Phi_z}{\partial Z} \psi_z \right\rangle. \quad (11)$$

В итоге, уравнения медленных движений будут иметь вид:

$$\begin{cases} (I_0 + m(l+Z)^2) \ddot{\alpha} + c_{\phi} \dot{\alpha} + k_{\phi} \alpha + 2m\dot{Z}\dot{\alpha}(l+Z) = (Mh_c + ml + mz)g \sin(\alpha) + V_{\alpha}; \\ \ddot{Z} + 2\delta_z \dot{Z} + \omega_z^2 Z - \dot{\alpha}^2(l+Z) = -g \cos(\alpha) + V_z. \end{cases} \quad (12)$$

Согласно (12) положения квазиравновесий маятника для медленных составляющих  $\alpha = \alpha^*$  и  $Z = Z^*$ , находим из уравнений:

$$\begin{cases} (Mh_c + ml + mz)g \sin(\alpha) + V_{\alpha} = 0; \\ -g \cos(\alpha) + V_z = 0, \end{cases} \quad (13)$$

причём, определённые положения равновесия будут асимптотически устойчивы при выполнении условий:

$$\begin{cases} (Mh_c + ml + mz)g \sin(\alpha^*) + \frac{\partial V_\alpha}{\partial \alpha} > 0; \\ -g \cos(\alpha^*) + \frac{\partial V_z}{\partial z} > 0. \end{cases} \quad (14)$$

В силу громоздкости полученных результатов, мы не будем записывать выражения для  $V_\alpha$ ,  $V_z$ , а сразу запишем положения квазиравновесия маятника

$$\alpha_1^* = 0; \alpha_2^* = \pi; Z^* = 0. \quad (15)$$

С учётом (15) условие устойчивости квазиравновесных положений маятника для медленной переменной  $\alpha$  запишется в виде:

$$\begin{aligned} \lambda\sigma + \xi\Phi_{Bz} + \Phi_{B\phi} + \chi(\Phi_{Az}\Phi_{A\phi} + \Phi_{Bz}\Phi_{B\phi} - 2\Phi_{Bz}) < 0; \\ \xi = \frac{ml}{S^2}; \chi = \frac{ml}{S}; S = Mh_c + ml; l = l_0 + ml^2; e = \frac{l}{S}; \lambda = \frac{2ge\omega^2}{\dot{y}_0^2}. \end{aligned} \quad (16)$$

Пусть

$$\Lambda = \xi\Phi_{Bz} + \Phi_{B\phi} + \chi(\Phi_{Az}\Phi_{A\phi} + \Phi_{Bz}\Phi_{B\phi} - 2\Phi_{Bz}), \quad (17)$$

тогда (16) примет вид

$$\lambda\sigma + \Lambda < 0. \quad (18)$$

Где  $\sigma = 1$  – соответствует верхнему,  $\sigma = -1$  – нижнему положению маятника. Для медленной переменной  $Z$  при  $\delta_z \neq 0$  наблюдается асимптотическая устойчивость. Параметр  $\xi$  характеризует степень влияния дополнительной массы, а параметр  $\chi$  – удаление массы от оси подвеса маятника.

На рисунке 2 представлена в плоскости  $\eta_z^2$ ,  $\lambda > 0$  область неустойчивости нижнего положения маятника  $\lambda < -\Lambda$  и область устойчивости верхнего положения  $\lambda < \Lambda$  для значения параметров  $\xi = 0,5$ ;  $D_\phi = 0,02$ ;  $D_z = 0,02$ ;  $\eta_\phi = 2$  и  $\chi = 0,5$ .

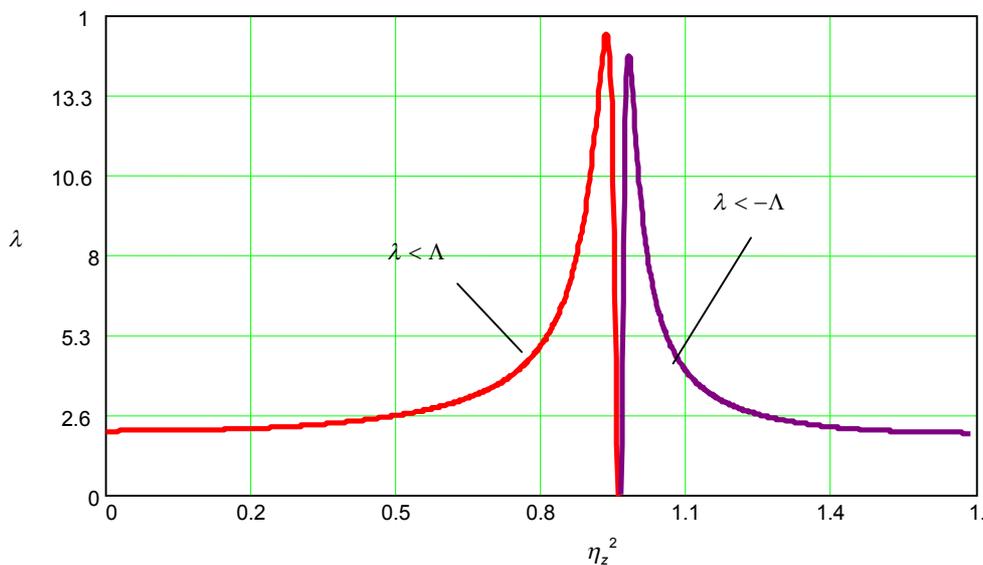


Рисунок 2 – Области устойчивости и неустойчивости

Следует отметить, что графики строятся при постоянной частоте возбуждения  $\Omega$  и собственной частоте угловых колебаний  $\omega_\phi$  а меняется только парциальная частота осцилляторов  $\omega_z$ . Заметим, что минимальное значение амплитуды скорости вертикальных колебаний оси маятника  $(\dot{y}_0/\Omega)_{\min}^m$  необходимое для обеспечения условия устойчивости его верхнего положения при наличии дополнительной массы  $m$ , может быть существенно уменьшено по сравнению со значением  $(\dot{y}_0/\Omega)_{\min}$ , необходимым при отсутствии этих масс. Отношения этих значений получается из формул (16) и (18)

$$q = \frac{(\dot{y}_0/\Omega)_{\min}^m}{(\dot{y}_0/\Omega)_{\min}} = \frac{1}{\sqrt{\Lambda}}. \quad (19)$$

В условиях рисунка 2  $\xi = 0,5$ ;  $D_\phi = 0,02$ ;  $D_z = 0,02$ ;  $\eta_\phi = 2$  и  $\chi = 0,5$ , например, при  $\eta_z^2 = 0,9$  получаем  $\Lambda = 6,118$  и  $q = 0,4$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Остроменский, П.И. Составление и исследование уравнений движения голономных и неголономных систем методом обобщенных сил / П.И. Остроменский, А.И. Родионов // Науч. вестн. НГТУ. -1997. -№1(3). -С. 121-140.

2 Лойцянский, Л.Г. Курс теоретической механики. Т.2. Динамика / Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье. -М.: Наука, 1983. -640 с.

3 Blekhman, I.I. Vibrational Mechanics. Nonlinear dynamic effects, general approach, applications / I.I. Blekhman // World Scientific, 2004, Singapore, 2000.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* *вибрационные испытания, транспортное машиностроение*

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* *Можяев Юрий Артемьевич, ассистент ГОУ ВПО «НГТУ»*

*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:* *630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»*

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА РЕЧНЫХ СУДАХ**

**ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт метрологии»  
ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»**

**Г.В. Шувалов, О.А. Ясырова, К.С. Мочалин**

#### **DEVELOPMENT OF THE METHODS OF THE CHECKING TO DENSITY COMBUSTIBLE-LUBRICANTS ON RIVER COURT**

**«Siberian scientific research institute of metrology»**

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

**G.V. Shuvalov, O.A. Jasyrova, K.S. Mochalin**

Version barbotazhnogo a method, with reference to definition of firmness of mineral oil and working out of a technique of the control of firmness of combustive-lubricating materials for ship internal combustion engines is considered.

Рассмотрена модификация барботажного метода, применительно к определению плотности нефтепродуктов и разработке методики контроля плотности горюче-смазочных материалов для судовых двигателей внутреннего сгорания.

Одним из перспективных методов измерения плотности нефтепродуктов, удовлетворяющим вышеизложенным требованиям, можно считать барботажный, который известен, но не нашел широкого применения из-за ряда технических трудностей при его реализации.

Надежность работы судовых энергетических установок, в частности двигателей внутреннего сгорания, определяется конструктивным исполнением двигателя, выбором оптимальных режимов его работы и правильным применением горюче-смазочных материалов, используемых при эксплуатации двигателей.

Особенности работы ДВС в различных режимах с применением различных видов топлив и масел на водном транспорте были проанализированы в работах О.Н. Лебедева, Б.О. Лебедева, Г.П. Кича, И.Г. Мироненко, А.Л. Новоселова, С.А. Худякова, Л.А. Шеромова, В.Б. Ломухина, С.В. Викулова, В.Н. Марченко, В.Ф. Большакова и др. [1-3].

Одним из таких параметров определяющих технико-экономические показатели работы двигателей является плотность, измерение которого предусмотрено стандартами различных стран. Этот показатель используется при расчете массы горюче-смазочных материалов, в связи с чем плотность имеет особое значение при проведении операций купли-продажи между поставщиком и покупателем. Измерение плотности осуществляется также для целей управления технологическими процессами и выполнения операций учета количества топлива, его качества. Измерение плотности в настоящее время приобретает чрезвычайно важное значение в связи с проводимыми мероприятиями по экономии топливно-энергетических ресурсов.

Плотность топлива является важнейшим параметром, используемым в расчетах процессов, происходящих в ДВС, так как существенно влияет на характеристику впрыска топлива. Интенсивное испарение легких фракций может приводить к увеличению плотности горюче-смазочных материалов, при этом возрастает длина струи распыляемого топлива, ухудшается экономичность двигателя и увеличивается дымность отработавших газов.

Таким образом, плотность следует считать универсальным и наиболее доступным для измерения качественным показателем нефтепродуктов. Ее измерение позволяет контролировать процессы эксплуатации ДВС, сортировать нефтепродукты и вести их массовый учет. Поэтому возникает необходимость в разработке новых средств измерения плотности, обеспечивающих необходимую точность и быстроту измерения, а также доступных по цене для отечественного потребителя.

На практике этот параметр подлежит обязательному определению согласно ГОСТ 3900-85 «Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности». Однако рекомендуемые стандартные приборы, хотя и обеспечивают необходимую точность по своему конструктивному и аппаратному исполнению устарели, к тому же для определения плотности требуются лабораторные условия, что возможно не всегда в местах подготовки и эксплуатации топлив и масел. Поэтому актуальной является задача оперативного определения плотности. В трудах И.П. Глыбина, Л.А. Залманзона, С.С. Кивилис, В.И. Лаптева, Д.М. Мордасова проанализированы основные методы и приборы для определения плотности. Большинство из перечисленных методов имеют существенные недостатки, основные из которых – значительные затраты труда и времени. В то же время часто возникает необходимость проведения измерений плотности вне лаборатории в «полевых условиях». Это обуславливает необходимость создания современных экспресс-методов определения плотности нефтепродуктов, в связи с чем разработке и исследованию новых принципов измерения, созданию конструкций приборов, основанных на этих принципах, уделяется все большее внимание.

В связи с этим целью данной работы является разработка экспресс-метода определения плотности горюче-смазочных материалов в режиме подготовки и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания.

Одним из перспективных методов измерения плотности нефтепродуктов, удовлетворяющим вышеизложенным требованиям, можно считать барботажный, который известен, но не нашел широкого применения из-за ряда технических трудностей при его реализации, в частности необходимостью измерения малых разностей давлений.

В настоящей работе рассматривается модификация данного метода, применительно к определению плотности нефтепродуктов и разработке методики контроля плотности горюче-смазочных материалов для судовых ДВС. Особенностью указанного метода является то, что информация о разности гидростатических давлений снимается не в виде показаний манометра, а в виде количества пузырьков воздуха, выходящих из измерительных трубок, пропорционального разности давлений (пузырьково-барботажный метод). Преимуществом этого метода является преобразование непрерывной незлектрической величины – разности давлений – в последовательность дискретного счета пузырьков воздуха при его барботаже через исследуемую жидкость.

Одним из наиболее простых способов образования пузырьков является вытеснение газа в неподвижную жидкость через обращенное вверх круглое отверстие (рисунок 1).

Принимая, что в отверстии находится пузырек сферической формы, рассчитан размер пузырька при малых расходах газа.

В данной системе на пузырек действуют силы:

– сила тяжести

$$F_1 = mg = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_g g, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус пузырька, м;

$\rho_g$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

– сила Архимеда

$$F_2 = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho g, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

– сила поверхностного натяжения

$$F_3 = \pi d \sigma, \quad (3)$$

где  $d$  – диаметр выходного отверстия трубки, м;

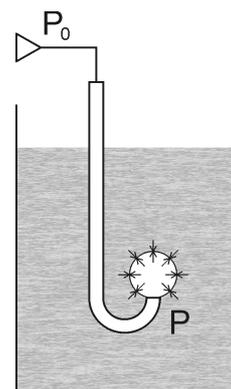


Рисунок 1 – Образование газового пузырька

$\sigma$  – поверхностное натяжение жидкости, Н/м.

Наибольший радиус пузырька определяется из условия статистического равновесия сил, действующих на него в момент отрыва от трубки:

$$F_1 + F_3 = F_2; \quad (4)$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{3d\sigma}{4(\rho - \rho_g)g}}. \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что размер пузырька в случае работы барботажной системы в режиме одиночных пузырей зависит от диаметра выходного отверстия, поверхностного натяжения, плотностей жидкости и газа, ускорения свободного падения.

Уравнение для давления газа в пузырьке, соответствующее режиму статического равновесия имеет вид

$$P_g = P_{ж} + \frac{2\sigma}{R}, \quad (6)$$

где  $P_g$  – давление газа в пузырьке,

$P_{ж}$  – давление жидкости на пузырек.

Далее рассмотрена система, состоящая из двух измерительных трубок, помещенных в исследуемую жидкость (рисунок 2).

В трубки под избыточным давлением подается воздух от компрессора так, чтобы он барботировался через измерительные трубки. Очевидно, что для проведения счета пузырьков необходимо, чтобы соблюдался режим одиночных пузырей. Для него принимаются следующие допущения:

– форма пузырьков газа, отрывающихся от выходного отверстия и движущихся в жидкости – сферическая;

– пузырьки газа после ускорения на очень коротком пути (доли миллиметра) поднимаются в слое жидкости прямолинейно, вертикально и с постоянной скоростью (для данной жидкости, газа, диаметра пузырька);

– диаметр пузырьков не зависит от расхода газа, а определяется параметрами барботажной системы, при увеличении расхода газа уменьшаются расстояния между отдельными пузырьками.

Условие сферичности записывается следующим образом

$$ReM^{0,23} \leq 1,$$

где  $Re$  – число Рейнольдса;

$M$  – критерий, характеризующий физические свойства жидкости,

$$M = \frac{g\mu^4}{\rho\sigma^3}.$$

Давление газа в пузырьке на конце трубки в момент отрыва равно

$$P_i = P_a + \rho gh_i + \frac{2\sigma}{R_i}, \quad (7)$$

где  $P_a$  – атмосферное давление;

$\sigma$  – поверхностное натяжение жидкости;

$R_i$  – радиус пузырька из трубки;

$h_i$  – глубина погружения трубки.

Изменение давления газа в пузырьке

$$\Delta P_i = P_i - P_0, \quad (8)$$

где  $P_0$  – давление подаваемого газа, Па.

С другой стороны

$$\Delta P_i = \alpha_i V_n v_i, \quad (9)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент расхода газа;

$V_n$  – объем пузырька газа, м<sup>3</sup>;

$v_i$  – частота следования пузырьков, с<sup>-1</sup>.

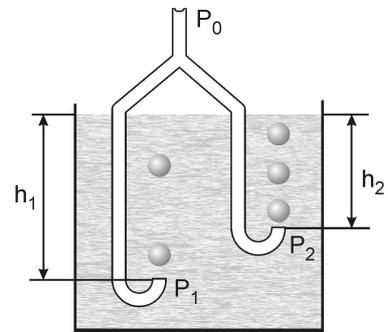


Рисунок 2 – Измерительная система для определения плотности жидкости

Для ламинарного течения газа коэффициент расхода определяется по формуле

$$\alpha = \frac{128\mu_e \ell}{\pi d^4}, \quad (10)$$

где  $\mu_e$  – вязкость газа, Па·с;

$\ell$  – длина трубки, м.

Таким образом, для двух трубок погруженных в жидкость на разную глубину

$$v_i = \frac{1}{\alpha_i V_n (R_i)} \left[ P_a + \rho g h_i + \frac{2\sigma}{R_i} - P_0 \right]. \quad (11)$$

Решив совместно уравнения (11) для двух трубок, приняв, что  $d_1 = d_2$  и  $\rho \gg \rho_e$ , получим

$$\rho = \frac{\alpha_2 v_2 - \alpha_1 v_1}{g(h_2 - h_1)} V_n. \quad (12)$$

Учитывая (5)

$$V_n = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{d\sigma}{\rho g}. \quad (13)$$

Подставив (13) в (12), получено искомое выражение для плотности:

$$\rho = \sqrt{\frac{(\alpha_2 v_2 - \alpha_1 v_1) d \sigma}{g^2 (h_2 - h_1)}}. \quad (14)$$

Таким образом, получена зависимость плотности исследуемой жидкости с числом пузырьков газа (воздуха), выпускаемых в нее в одиночном режиме из двух измерительных трубок.

По выведенной формуле (14) построены графики зависимости плотности от переменных величин, характеризующих свойства жидкости и параметры конструкции измерительной ячейки (диаметры и длина измерительных трубок, разность глубин их погружения в исследуемую жидкость).

На рисунке 3 представлена зависимость плотности жидкости от диаметра трубок. На рисунке 4 изображена зависимость плотности от длины измерительных трубок.

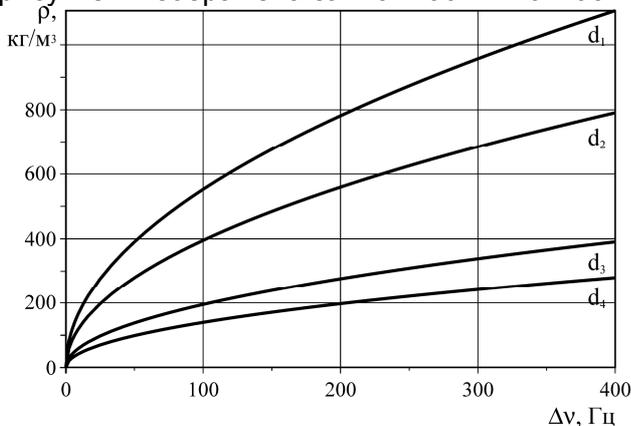


Рисунок 3 – Зависимость плотности от диаметра трубок:  $d_1 = 0,4$  мм;  $d_2 = 0,5$  мм;  $d_3 = 0,8$  мм;  $d_4 = 1$  мм

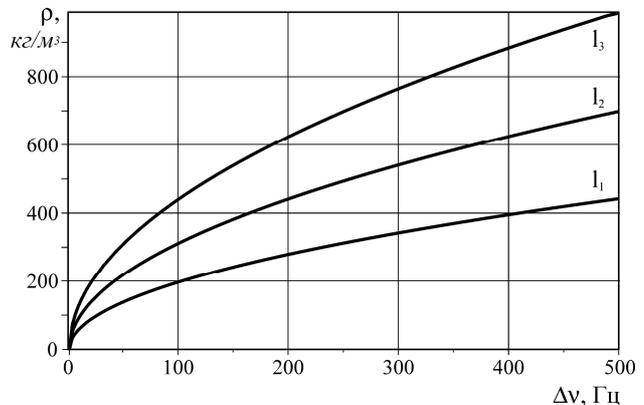


Рисунок 4 – Зависимость плотности от длины трубок:  $l_1 = 0,1$  м;  $l_2 = 0,3$  м;  $l_3 = 0,5$  м

На рисунке 5 представлена зависимость плотности исследуемой жидкости от разницы глубин погружения измерительных трубок в исследуемую жидкость.

Из анализа приведенных зависимостей следует:

- изменение диаметра трубок наиболее сильно влияет на информативный параметр метода – разность частот следования пузырей (см. рисунок 2). Учитывая то, что верхняя граница частоты ограничена величиной примерно 400 Гц, диаметр трубок целесообразно выбирать 0,3-0,5 мм;

- влияние длины трубок на разность частот следования пузырей незначительно;

- разницу глубин погружения трубок целесообразно выбирать в диапазоне 10-20 мм;

- величина поверхностного натяжения жидкости (для рассматриваемых нефтепродуктов) существенно не влияет на измерение плотности предлагаемым методом.

Таким образом, в результате теоретического рассмотрения физических процессов при

барботаже получено уравнение для определения плотности с использованием разницы частот пузырьков воздуха, выходящих из измерительных трубок. С использованием этого уравнения проведен анализ влияния различных факторов на точность измерения, а также оценка границ применения метода относительно разницы частот следования пузырей.

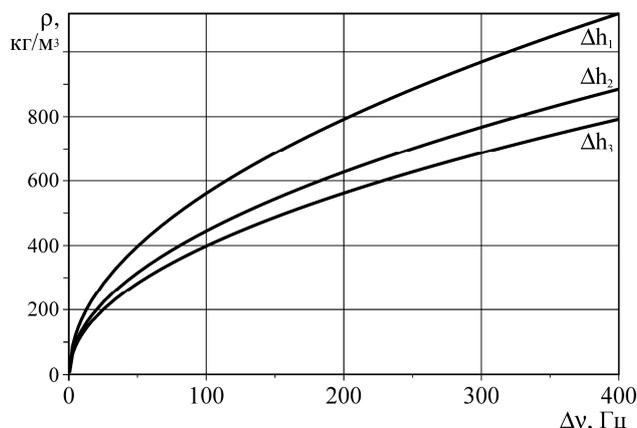


Рисунок 5 – Зависимость плотности от разницы глубин погружения трубок:  $\Delta h_1 = 0,01$  м;  $\Delta h_2 = 0,05$  м;  $\Delta h_3 = 0,08$  м

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лебедев, О.Н. Судовые энергетические установки и их эксплуатация / О.Н. Лебедев, С.А. Калашников. -М.: Транспорт, 1987. -336 с.
- 2 Лебедев, О.Н. Теоретические основы процессов смесеобразования в дизелях / О.Н. Лебедев, С.Н. Чирков. -Новосибирск: Изд-во НГАВТ, 1999. -200 с.
- 3 Лебедев, О.Н. Водотопливные эмульсии в судовых дизелях / О.Н. Лебедев, В.А. Сомов, В.Д. Сисин. -Л.: Судостроение, 1988. -108 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: судовые топлива, плотность, барботажно-пузырьковый метод измерения, параметры измерительной ячейки

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, И.О. зам. директора ФГУП «СНИИМ»  
Ясырова Ольга Александровна, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Мочалин Константин Сергеевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630004, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»  
630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА МАЛОТОННАЖНЫХ СУДАХ

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»

В.Ф. Веревкин, В.В. Миханшин

THE POSSIBILITY OF THE APPLICATION OF HYBRID POWER PLANT OF SMALL SHIPS  
«Maritime State University named adm. G.I. Nevel'skoi»  
V.F. Verevkin, V.V. Mikhanoshin

In this article is devoted to consideration of the application of hybrid power plant on the combination of the heat-engine and another source of energy. Some versions of suitable hybrid power plants are shown.

Рассмотрены возможности использования комбинированных энергоустановок на базе теплового двигателя и других источников энергии. Показаны варианты энергоустановки, наиболее полно подходящие по эксплуатационным характеристикам судна.

Целесообразность использования комбинированных (гибридных) энергетических установок (КЭУ) на морском транспорте рассматривалась ранее в работах [1, 2], однако в силу разных причин в то время комбинированные ЭУ на судах не получили практического применения.

Успешное применение комбинированных энергоустановок на наземных транспортных средствах типа Toyota Prius, Honda Civic, Lexus Gs 450h, показывает целесообразность ис-

питания подобных агрегатов на морском прибрежном транспорте, работающем с частыми маневренными режимами, к которым и относятся малотоннажные суда. Применение комбинированной энергетической установки, состоящей из нескольких источников энергии, позволяет уменьшить потребление горюче-смазочных материалов, сократить вредные выбросы в атмосферу, улучшить условия работы теплового двигателя [1,2].

Комбинированные энергетические установки, как правило, состоят из бензинового или дизельного агрегата и источника (источников) альтернативной энергии (ИАЭ), в роли которых могут выступать химические или кинетические аккумуляторы, топливные элементы или, например, конденсаторы сверхвысокой емкости.

Для малотоннажного судна КЭУ имеет ограничение по весу, поэтому источник должен обладать наибольшей удельной энергией и в то же время его мощности должно хватать для пиковых нагрузок на валу гребного электродвигателя. В упомянутых выше автомобилях применяются литий-ионные (Li-Ion) и никель-металл-гидридные (NiMH) аккумуляторы. Плотность энергии первого типа батарей составляет 60-80 Вт·ч/кг, второго – 100. Электроход с аккумуляторной батареей (АБ) массой 500 кг может обеспечить перевозку пассажиров через бухту Золотой Рог в течение суток. Заряд батарей можно осуществлять в ночное время, когда электроэнергия стоит в два раза дешевле. Установка на судне солнечных батарей позволит подзаряжать химические источники тока в светлое время суток [3].

Еще большую плотность энергии имеют воздушно-металлические механически перезаряжаемые источники, энергетические характеристики которых приведены в таблице 1 [4].

*Таблица 1 – Параметры электрохимических систем*

Электрохимическая система	Напряжение, В	Удельная энергия, Вт·ч/кг
Воздушно-алюминиевая	1,2-1,3	100-500
Воздушно-магниевая	1,4-1,5	100-300
Марганцево-литиевая	2,5-2,8	100-300

Из приведенных в таблице данных видно, что воздушно-алюминиевый источник тока (ВАИТ) имеет наибольшую удельную энергоемкость, имея среднее значение этой величины 300 Вт·ч/кг.

Заряд ВАИТ производится в течение нескольких минут, которые необходимы для заливки электролита и/или замены алюминиевых электродов. Недостатками этих источников являются довольно высокое внутреннее сопротивление, низкая удельная мощность, нестабильность напряжения во время разряда, провал напряжения при включении. Все указанные недостатки устраняются при использовании комбинированного источника тока (КИТ), состоящего из ВАИТ и аккумулятора.

Совместно с ВАИТ и с любым выбранным типом аккумуляторов можно также использовать суперконденсаторы, которые имеют следующие преимущества [5]:

- наибольшую плотность мощности из всех разновидностей аккумуляторов – как объемную, так и весовую;
- долговечность (свыше 10 лет) 100000 циклов заряда/разряда;
- очень быстрый процесс заряда батарей – не более часа;
- относительно низкий показатель саморазряда – до 10% в месяц.

При этом первый источник будет использоваться для заряда конденсаторной батареи, а она в свою очередь питать нагрузку. Недостаток этих источников – высокая стоимость (до USD 10 за килоджоуль накопленной энергии) и низкая плотность энергии на уровне 10-12 Вт·ч/кг.

КИТ, состоящий из ВАИТ и суперконденсатора, обладает двумя важными преимуществами. Во-первых, удельная энергоемкость такого источника будет достаточно велика (соизмерима с тем же показателем Li-Ion и Ag-Zn аккумуляторов), во-вторых, удельная мощность будет больше, чем при использовании любого типа АБ (для суперконденсаторов этот показатель равен 2000-15000 Вт/кг [5]). Кроме того, такая комбинация позволит избавиться от недостатков, присущих ВАИТ.

Суперконденсаторы могут выполнять роль обычных конденсаторов: улучшение качества электроэнергии – компенсация пиков тока при переходных режимах, генерирование реактивной мощности. В случае рекуперации энергия торможения (даже большой мощности) сможет идти на подзаряд суперконденсаторов.

Кинетический аккумулятор (супермаховик) имеет большую удельную энергию (табли-

ца 2) [6], удельную мощность и срок службы порядка 15-20 лет. В ходе эксплуатации кинетических аккумуляторов не требуется замены никаких его частей. Недостатком супермаховиков является гироскопический эффект, который препятствует изменению направления оси вращения маховика. Судно не совершает резких маневров, поэтому момент инерции вращающегося маховика не может быть помехой движению. Кроме того, масса маховика много меньше массы самого судна.

На транспорте в настоящее время маховики используются в электромеханических накопителях энергии для метрополитена [7], в шахтных и карьерных локомотивах [8]; в Великобритании компанией Parry People Movers разработаны и эксплуатируются самоходные пассажирские вагоны с маховичным приводом [9].

*Таблица 2 – Удельная энергия супермаховиков*

Устройство (материал)	Удельная энергия, кВт·ч/кг без учета КПД и массы двигателя	КПД, %	Удельная энергия, кВт·ч/кг с учетом КПД
Маховик из углеродного волокна	0,215-0,500	96-98	0,21-0,49
Маховик из кварцевого стекла	0,900	96-98	0,88
Кольцевой маховик	1,400-4,170	96-98	1,36-4,00

Обычно допускается снижение скорости вращения супермаховика вдвое, при этом его энергия уменьшается в четыре раза, соответственно 3/4, или 75% всей энергии идет к потребителю.

Таким образом, этот тип накопителя энергии сочетает в себе все основные требования, предъявляемые к источникам питания, входящим в состав комбинированной судовой энергоустановки.

Широкие возможности использования в комбинированных судовых энергоустановках представляются топливным элементам (ТЭ), богатый опыт разработки и внедрения в автомобильный транспорт которых принадлежит японской фирме Honda. Топливный элемент вырабатывает электричество в результате электрохимической реакции кислорода и водорода, при этом выброс вредных веществ полностью отсутствует. Кислород поступает из воздуха, а водород из баков, в которых он хранится под высоким давлением.

В 2007 г максимальная дальность пробега автомобиля на топливных элементах составляла 570 км, при этом мощность топливного элемента была равна 100 кВт, запас водорода составлял 5 кг (171 литр) при давлении 350 атм. Судно с современными ТЭ и запасом водорода на борту в 40-50 кг имело бы автономность плавания несколько суток. В таблице 3 представлено развитие ТЭ этой фирмой с 1999 г [10].

*Таблица 3 – Сравнение версий топливных элементов*

Параметр	1999 г.	2003 г.	2006 г.
Мощность, кВт	60	86	100
Объем, л	134	66	52
Масса, кг	202	96	67
Мощность/Объем, кВт/л	0,448	1,300	1,920
Мощность/масса, кВт/кг	0,3	0,9	1,5

Из таблицы 3 следует, что удельная энергия новых ТЭ превосходит этот показатель свинцово-кислотных аккумуляторов в 50 раз. Время жизни топливной ячейки более чем 40000 ч.

Свинцово-кислотные и железо-никелевые АБ являются одними из самых дешевых и широко распространенных источников питания с плотностью энергии порядка 30 Вт·ч/кг. Преимуществом щелочных аккумуляторов типа ТНЖК по сравнению со свинцовыми является низкая зависимость емкости от режима разряда. Поэтому запас хода электрохода с таким аккумулятором будет больше, чем в случае применения других АБ с такой же емкостью. По сравнению с кислотными, щелочные АБ требуют менее тщательного ухода, не подвержены сульфатации, обладают повышенной взрыво- и пожаробезопасностью, большой механической прочностью, не боятся тряски, ударов, вибрации, хорошо выдерживают короткие замыкания.

Основные принципы создания комбинированных ЭУ для малотоннажных судов с использованием в качестве источников альтернативной энергии кислотных и щелочных АБ приведены в [1, 2].

Основные характеристики различных типов химических источников тока на период 1990-х годов, их достоинства и недостатки приведены в [11]. В этой работе сделан вывод, который справедлив и по сей день, что наиболее подходящими для средств электротяги (в том числе и для КЭУ малотоннажных судов), с точки зрения таких характеристик, как стоимость и долговечность, являются кислотные и железоникелевые аккумуляторы.

Подведем итоги. Использование комбинированных энергоустановок на малотоннажных судах возможно и целесообразно. Все из рассмотренных источников тока, кроме кинетического аккумулятора, работают практически бесшумно. Судно прибрежного плавания с топливными элементами и необходимым запасом водорода может иметь только этот источник электроэнергии.

С точки зрения наименьшей цены следует использовать свинцово-кислотные или железоникелевые АБ. NiMH аккумуляторы имеют вдвое большую плотность энергии по сравнению с предыдущими и стоят они дороже, но дешевле Li-Ion. В случае если выбор будет сделан в пользу комбинированной дизель-аккумуляторной энергоустановки, то для подзарядки АБ целесообразно установить на судне и солнечные элементы.

С точки зрения наибольшей долговечности (15-20 лет) следует выбрать инерционный накопитель – маховик из кварцевого или углеродного волокна.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Веревкин, В.Ф. Гибридные энергетические установки для судов с ограниченным районом плавания // В.Ф. Веревкин. Сб. «Судовые энергетические установки».-М.: ЦРИА «МОРФЛОТ», 1978, Вып.18. -С. 151-155.

2 Веревкин, В.Ф. Применение аккумуляторных и гибридных энергоустановок на малотоннажных судах внутрипортового и прибрежного плавания // В.Ф. Веревкин. Тр. НТО СП им. акад. А.Н. Крылова: Опыт исследов., проектиров. и монтажа судовых электроэнерг. систем. -Л. 1981. Вып.352. -С. 15-18.

4 Веревкин, В.Ф. Использование солнечных элементов на судах // В.Ф. Веревкин. Сб. докл. научных чтений «Приморские зори-2000». -Владивосток: ТАНЭБ, 2000. -С. 129-131.

5 Режим доступа: <http://www.bre.ru/security/15818.html>

6 Электроника: Наука, Технология, Бизнес 3/2003.

7 Ristinen, R.A., and Kraushaar, J.J. (1999). Energy and the Environment, John Wiley & Sons, New York.

8 Режим доступа: <http://www.espm.ru/proba9.htm>

9 Режим доступа: [http://donntu.edu.ua/russian/strukt/kafedrs/wgzt\\_l/strMUHOPAD/book3.htm](http://donntu.edu.ua/russian/strukt/kafedrs/wgzt_l/strMUHOPAD/book3.htm)

10 Режим доступа: <http://www.membrana.ru/articles/technic/2007/06/25/200000.html>

11 Режим доступа: <http://www.autoapgads.lv/1/0/73/?tema=16>

12 Супрун, Ю.Т. Источники энергии для ГЭУ малотоннажных судов и их характеристики / Ю.Т. Супрун. Экспресс-инф. «Техн. экпл. флота», -М., Вып. 3(719), 1990. -С. 11-17.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** комбинированные энергетические установки

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Веревкин Владимир Федорович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

Миханюшин Виктор Викторович, аспирант ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

## **РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА НЕФТЕПРОДУКТОВ НА МОБИЛЬНЫХ И СТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТАХ**

**ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт метрологии»  
ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»**

**Г.В. Шувалов, С.М. Асосков, А.А. Поздняков, А.В. Калинин**

**DEVELOPMENT OF THE FACILITIES OF THE MEASUREMENTS FOR ANALYSIS MINERAL OIL ON MOBILE AND STATIONARY OBJECT**

**«Siberian scientific research institute of metrology»**

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

**G.V. Shuvalov, S.M. Asoskov, A.A. Pozdnyakov, A.V. Kalinin**

Combustible-lubricants (GSM) before its use pass several stages: development and fabrications of the pilot model GSM, production of

the goods product, using. For ensuring the warranties quality goods mineral oil necessary determination his(its) parameter, in connection with than appears need of the constant checking quality GSM in places of storage and using on court of the river fleet. Provide mass checking an mineral oil when use possible several fetters, amongst them the most efficient and perspective way can be an using specialized mobile laboratories, equipped necessary facility of the measurements, features which are considered in persisting work.

Горюче-смазочные материалы (ГСМ) до своего использования проходят несколько стадий: разработка и изготовления опытного образца ГСМ, производство товарного продукта, применение. Для обеспечения гарантии качества товарного нефтепродукта необходимо определение его параметров, в связи с чем возникает необходимость постоянного контроля качества ГСМ в местах хранения и применения на судах речного флота. Обеспечить массовый контроль нефтепродуктов при использовании возможно несколькими путями, среди них наиболее эффективным и перспективным способом может быть применение специализированных мобильных лабораторий, оснащенных необходимыми средствами измерений, характеристики которых рассматриваются в настоящей работе.

Известно, что все горюче-смазочные материалы (ГСМ) до своего непосредственного использования проходят несколько стадий: разработка и изготовления опытного образца ГСМ; производство товарного продукта; применения в технике (транспортирование, хранение и использование потребителем).

Для обеспечения гарантии качества товарного нефтепродукта необходим его контроль, который имеет свои особенности на каждом из указанных этапов. Так, на этапе разработки нового или модернизированного ГСМ используют лабораторные методы и установки, моделирующие реальные условия эксплуатации техники; на этапе производства – стандартные химические и физико-химические методы анализа состава; на этапе применения необходимы надежные экспресс-методы инструментального анализа качества и состава нефтепродукта. Нормы показателей качества нефтепродуктов устанавливает технический регламент «О требованиях к автомобильному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту», а контроль качества нефтепродуктов в организациях, осуществляющих деятельность с нефтепродуктами, возложен на межрегиональные территориальные управления (МТУ) Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. Как правило, наиболее жесткий контроль качества ГСМ осуществляется на этапе разработки и производства, контроль же качества на этапе применения практически не производится, особенно в отдаленных предприятиях и судах речного флота. Однако опыт свидетельствует, что качество ГСМ, поступающих к потребителю, часто отличается по качеству от стандартного в основном из-за нарушения условий транспортировки и хранения.

В этой связи возникает необходимость постоянного контроля качества ГСМ в местах хранения и применения на судах речного флота и возрастает значение анализа физико-химических параметров нефтепродуктов «на месте» (on site). В последние годы это особенно актуально в связи с проверкой наличия в ГСМ не допускаемых к применению компонентов и присадок (в частности, металлосодержащих и т.п.). Обеспечить массовый контроль нефтепродуктов при использовании возможно несколькими путями. Среди них можно назвать упрощение процедур анализа и соответствующих технических средств, не снижающие качество анализа, например, применение простейших «чемоданных» лабораторий, а также осуществление контроля непосредственно в тех местах, где находится контролируемый объект. Последнее позволяет исключить операции с пробами, связанные с их транспортировкой и хранением, и разгрузить специализированные стационарные лаборатории от проведения массовых анализов.

Наиболее эффективным и перспективным способом контроля качества ГСМ в местах хранения и продажи может быть применение специализированных мобильных лабораторий, оснащенных необходимыми средствами измерений. Применение мобильных лабораторий дает возможность на базе определенных маршрутных схем создать четкую систему контроля качества ГСМ при приемке, хранении и отпуске.

Для решения этой задачи в Сибирском научно-исследовательском институте метрологии были разработаны комплектные лаборатории анализа нефтепродуктов типа «КЛАН-1», предназначенные для анализа и контроля физико-химических параметров нефтепродуктов (бензинов, дизельного топлива, моторных масел) как в стационарных условиях, так и в местах хранения и продажи нефтепродуктов. В соответствии с этим лаборатории могут быть двух модификаций: стационарные и мобильные, размещенные в любом транспортном средстве, например, специальном речном судне. В состав лаборатории входит комплект измерительных приборов (анализаторов), а также измерительное и вспомогательное оборудование. Средства измерений, измерительное и вспомогательное оборудование позволяют из-

## ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

мерять параметры нефтепродуктов, условно разделенных на три группы: бензины, дизельное топливо, моторные масла.

Количество измеряемых параметров нефтепродуктов согласно инструкции [1] определяется объемом проводимого анализа (таблица 1).

*Таблица 1 – Изменяемые параметры нефтепродуктов*

Вид нефтепродукта	Приемо-сдаточный анализ	Контрольный анализ
Автомобильные бензины	– цвет; – плотность при 20 °С; – содержание механических примесей и воды (визуально); – фракционный состав; – октановое число; – содержание ВКЩ	– цвет – плотность при 20 °С; – содержание механических примесей и воды (визуально); – фракционный состав; – содержание фактических смол; – октановое число; – испытание на медной пластинке; – содержание ВКЩ
Дизельное и моторное топливо	– плотность при 20 °С; – содержание механических примесей и воды (визуально); – температура вспышки, определяемая в закрытом тигле; – фракционный состав; – массовая доля серы; – содержание ВКЩ – коэффициент фильтруемости	– плотность при 20 °С; – содержание механических примесей и воды (визуально); – температура вспышки, определяемая в закрытом тигле; – фракционный состав; – массовая доля серы; – содержание ВКЩ; – температура застывания; – предельная температура фильтруемости; – содержание фактических смол; – коэффициент фильтруемости
Масла	– плотность при 20 °С; – прозрачность (для турбинного и трансформаторного масел); – температура вспышки; – кинематическая вязкость; – содержание ВКЩ	– плотность при 20 °С; – содержание воды; – содержание механических примесей; – прозрачность (для турбинного и трансформаторного масел); – температура вспышки; – кинематическая вязкость; – щелочное число; – кислотное число

Определение указанных в таблице 1 параметров нефтепродуктов достаточно для подтверждения паспорта качества ГСМ, поэтому комплектные лаборатории для измерения параметров нефтепродуктов оснащаются соответствующими средствами измерений. Для этого в Сибирском научно-исследовательском институте метрологии разработаны рабочие средства измерений параметров ГСМ (таблица 2).

*Таблица 2 – Рабочие средства измерений для анализа нефтепродуктов*

Наименование измеряемого параметра, единица измерения	Диапазон измерения	Пределы допускаемой погрешности	Наименование средств измерений
Октановое число автомобильных бензинов, окт. ед.	72-89 (моторный метод) 72-98 (исследовательский метод)	±0,5 окт. ед.	Анализатор СИМ-3Б
Содержание воды в нефти и нефтепродуктах, %	0,01-2,00	±10%	Анализатор СИМ-4
Температура вспышки, °С (дизельное топливо и масла)	20-200 100-300	±5 °С	Анализатор СИМ-5Д Анализатор СИМ-5М
Содержание серы в нефтепродуктах, г/дм <sup>3</sup>	0,08-4,00	0,005-5,000	Анализатор СИМ-6
Плотность нефти и нефтепродуктов, г/см <sup>3</sup>	0,7736-0,8879	±0,0005 г/см <sup>3</sup>	Анализатор СИМ-7
Диапазон измерения кинематической вязкости нефтепродуктов, мм <sup>2</sup> /с	3,69-9,78	±1,2%	Анализатор СИМ-8

*Продолжение таблицы 2*

Наименование измеряемого параметра, единица измерения	Диапазон измерения	Пределы допускаемой погрешности	Наименование средств измерений
Разгонка нефтепродуктов, °С	35-370	–	Анализатор СИМ-10
Температура застывания нефтепродуктов, °С	-57, не более	±2 °С	Анализатор СИМ-11
Содержание массовой доли механических примесей в нефти и нефтепродуктах, %	0,1000-0,0001	±10%	Анализатор СИМ-12

Все указанные приборы прошли государственные испытания и утверждены Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии как типы средств измерений. Большинство из них реализуют стандартные методы испытаний нефтепродуктов, изложенные в соответствующих государственных стандартах (за исключением экспресс-анализатора октанового числа и определения механических примесей). Все приборы относятся к группе автоматизированных анализаторов по ГОСТ 16851-71, когда отбор проб оператор проводит вручную, а измерение параметров осуществляется автоматически и выдается на индикаторе прибора в цифровом виде.

К одной из особенностей приборного обеспечения передвижной лаборатории следует отнести то, что ряд приборов разработан специально для условий работы мобильной лаборатории. Например, для определения содержания плотности использован барботажный метод, влагосодержания – адсорбционный метод.

Проверка приборов, входящих в передвижную лабораторию «КЛАН-1», осуществляется с использованием Государственных стандартных образцов нефти (таблица 3) и продуктов ее переработки, выпускаемых НПО «Интегрсо» (г. Уфа).

*Таблица 3 – ГСО нефти и нефтепродуктов*

Измеряемый параметр	Национальный, международный стандарт	ГСО		Значение нормирующего параметра
		номер	тип	
Массовая доля серы, %	ГОСТ 19121-73	5479-90... 5481-90	СЛ-1...СЛ-3	0,013–0,990
Фракционный состав, °С: н.к. к.к.	ГОСТ 2177-99 ASTM D86	7947-01... 7949-01	ФС-1...ФС-3	40,0-81,0 176,0-360,0
Температура вспышки, °С	ГОСТ 6356-76	4088-87... 4092-87	ТЗТ-1...ТЗТ-5	17,0-119,0
	ГОСТ 43330-87	4407-89... 4409-89	ТОТ-1...ТОТ-3	74,0–122,0
Температура застывания, °С	ГОСТ 20287-91 ASTM D97	7945-01 7946-01	ТЗ-1...ТЗ-2	-52...-55 -28...-31
Массовая доля механических примесей, %	ГОСТ 6370-83	6460-92... 6463-92	МП-1...МП-4	0,0024-1,1300
Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с	ГОСТ 33-2000	7177-94... 7138-94	ВК-21...ВК-105	1,26-20,20
Массовая доля содержания воды, %	ГОСТ 2477-65	5760-90... 5762-90	В-1...В-3	0,11-0,97
Плотность, при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	ГОСТ Р 51069-97	8156-2002 8157-2002	ПЛ-1...ПЛ-2	773,6 852,3

Мобильная лаборатория может представлять собой комплекс перечисленных средств измерений, смонтированных на базе любого речного транспорта, салон лаборатории должен быть специально дооборудован. Для размещения приборов салон лаборатории снабжается необходимой лабораторной мебелью, которая состоит из стола, вытяжного зонда с вентилятором, шкафа для рабочей одежды и умывальника. Рабочее пространство в салоне спланировано таким образом, что позволяет организовать два полноценных рабочих места операторов для проведения анализов нефтепродуктов.

Электропитание приборов осуществляется с помощью сети напряжением 220 В, для чего предусмотрен выносной кабель с заземляющей жилой длиной 50 м. В целях безопасности обслуживающего персонала подключение приборов производится через устройство за-

щитного отключения. Дополнительно по периметру салона лаборатории выполнено защитное заземление. При необходимости для организации автономного питания приборов и оборудования может быть использована дизельная переносная электростанция мощностью не менее 3 кВт.

В комплект мобильной лаборатории входит персональный компьютер для ведения базы данных результатов анализа и их вывода в виде протокола стандартной формы. Кроме того, имеется база нормативных данных параметров дизельных топлив и масел, что позволяет оперативно контролировать отклонение измеряемых параметров от их номинальных значений. Рассмотренная передвижная лаборатория прошла государственные испытания и внесена в Государственный реестр средств измерений (сертификат № 26145-03 от 19.01.2004 г.).

Особенностью лаборатории является то, что в ускоренные сроки на ней можно провести анализ бензинов, дизельного топлива и моторных масел по основным параметрам в местах их хранения и применения с выдачей протокола испытаний. Время, необходимое для проведения анализов, как показывает практика, составляет не более 2,5 ч.

Таким образом, мобильная лаборатория «КЛАН-1» позволяет решать задачу оперативного инструментального контроля качества ГСМ в целях недопущения использования потребителям не соответствующих по качеству нефтепродуктов. Особенно это актуально в связи с введением технического регламента «О требованиях к автомобильному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту». В этой связи наибольший интерес к указанной лаборатории могут проявить предприятия использующие большие объемы нефтепродуктов для собственных нужд. В настоящее время лабораториями «КЛАН-1» оснащены ряд предприятий Новосибирской, Красноярской и Курганской областей. Как правило, все передвижные лаборатории прошли аккредитацию в системе ГОСТ Р.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Инструкция по контролю и обеспечению сохранения качества нефтепродуктов в организациях нефтепродуктообеспечения. -М.: Минэнерго, 2003.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** горюче-смазочные материалы, мобильная лаборатория, средства измерений  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, И.О. зам. директора ФГУП «СНИИМ»  
Асосков Сергей Михайлович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Поздняков Андрей Александрович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Калинин Алексей Вениаминович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630004, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»  
630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СУДОВОГО ТОПЛИВА

ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт метрологии»  
ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Г.В. Шувалов, Н.А. Духновский, А.С. Калинин

#### DETERMINATION MAIN PARAMETER SHIP FUEL

«Siberian scientific research institute of metrology»  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
G.V. Shuvalov, N.A. Duhnovsky, A.V. Kalinin

In this connection in persisting work were organized experimental studies of the temperature of the flash mineral oil for the reason development express-method of the analysis of the instrument for determination of the contents of the sulphur in diesel oils.

Проведены экспериментальные исследования температуры вспышки нефтепродуктов с целью разработки экспресс-метода анализа прибора для определения содержания серы в дизельном топливе.

С начала 2009 года в России вступил в действие технический регламент «О требованиях к автомобильному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту», в котором прописаны нормы показателей качества нефтепродуктов и соблюдение которых является обязательным. В частности, для судового топлива таковыми обязательными нормами являются: температура вспышки и содержание серы,

в связи с чем приобретает актуальность создание приборов для их определения. Температура вспышки является важным показателем, который определяет теплофизические свойства нефтепродуктов и характеризует их способность к воспламенению при нагреве, а также, способность к распространению пламени при местном зажигании топлив в дизельных двигателях.

На практике этот параметр определяется согласно ГОСТ 4333-87 и ГОСТ 6356-75 «Методы определения температуры вспышки». Однако рекомендуемые стандартные приборы по своему конструктивному и аппаратному исполнению устарели, так как громоздки и определение температуры осуществляется в течение длительного времени (до 1,5 ч). При этом измерения надо проводить несколько раз (от двух до пяти) для получения результата с требуемой точностью. Таким образом, существующие методики и приборы не дают возможности оперативного определения вспышки на местах эксплуатации масел и топлив. Поэтому актуальной является задача разработки методов оперативного определения температуры вспышки нефтепродуктов. Решение этой задачи может быть связано с уменьшением объема испытуемого нефтепродукта.

В этой связи были проведены экспериментальные исследования температуры вспышки нефтепродуктов с целью разработки экспресс-метода анализа.

Сущность исследований заключается в нагревании пробы нефтепродукта в открытом тигле с установленной скоростью до тех пор, пока не произойдет вспышка паров нефтепродукта над его поверхностью от зажигательного устройства.

Для экспериментов применялся стандартный тигель с возможностью изменения объема испытуемого масла, для чего использовались алюминиевые пластины-шайбы. Объемы, полученные с их помощью составляли: 75; 50; 25; 10; 5 мл.

По результатам экспериментов была построена зависимость температуры вспышки моторного масла от его объема, приведенная на рисунке 1. Для выявления влияния на температуру вспышки испытания проводились при различных значениях площади испарения масла.

Расхождения температур вспышек при различных объемах, составляли не более  $\pm 5$  °С, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 4333-87 в части точности результатов испытаний.

Из данных рисунка 1 видно, что уменьшение объема моторного масла не повлияло на значения температуры вспышки.

Кроме этого, была исследована закономерность изменения температуры вспышки от скорости нагрева масла.

Результаты экспериментов приведены на приведенная на рисунке 2.

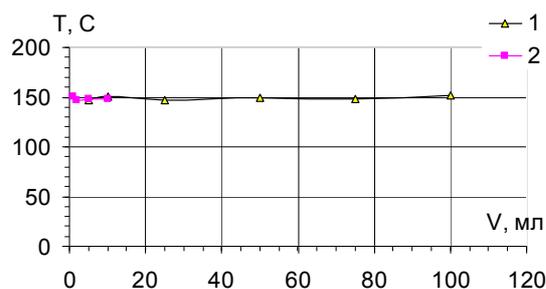


Рисунок 1 – Зависимость температуры вспышки от площади поверхности тигля: 1-при 19,6 см<sup>2</sup>; 2-при 4,2 см<sup>2</sup>

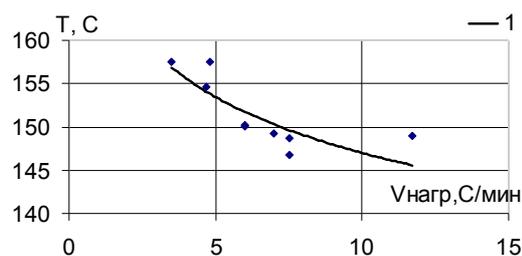


Рисунок 2 – Зависимость температуры вспышки от скорости нагрева нефтепродукта

Видно, что скорость нагрева масла влияет на значение его температуры вспышки. Было сделано предположение, что на результат определения температуры вспышки влияют конвективные процессы теплообмена в жидкости. Так, увеличение скорости нагрева нефтепродукта может приводить к возрастанию интенсивности тепловой конвекции, что приводит к уменьшению температуры вспышки масла.

Для подтверждения этого было изучено распределение температуры вспышки в зависимости от точки расположения датчика температуры – термопары в тигле с маслом.

Исследования проводились при двух интенсивностях нагрева. Пример распределения температур вспышек в зависимости от точки расположения измерительной термопары приведен на рисунке 3.

Из рисунка видно, что разница температур вспышек может достигать до 50 °С при раз-

ных положениях термопары и интенсивностях нагрева.

Для подтверждения указанных предположений проводилось визуальное наблюдение конвекции в стеклянном тигле. В смазочное масло помещаются мелкодисперсные частицы для наблюдения движения жидкости.

Процесс переноса частиц в масле проходил по следующей схеме: от дна стакана вдоль боковых стенок кверху, затем вдоль поверхности и по оси тигля вниз ко дну. Процесс повторялся по той схеме, пока не происходило вскипание смазочного масла.

При малых скоростях нагрева и в малых объемах конвекция не играет существенной роли, поэтому зависимости температуры вспышки от скорости нагрева практически нет. На рисунке 4 приведены эти данные.

Кроме этого осуществлялось экспериментальное исследование температур, при которых происходит вспышка отдельной капли масла, помещенной на алюминиевую пластину.

Измерения производились при разной скорости нагрева пластины с образцом. Это достигалось за счет регулировки напряжения, подводимого к печи.

Среднеарифметическое значение температуры вспышки испытуемого нефтепродукта при испытаниях в отдельной капле составило  $150 \pm 5$  °С.

Таким образом, показано, что температура вспышки, определенная в разных объемах смазочного масла, в том числе и одиночной капле не меняется и составляет 150 °С.

С учетом результатов проведенных исследований разработана конструкция прибора для определения температуры вспышки нефтепродуктов. Он предназначен для экспресс-определения температуры вспышки дизельного топлива, моторных и автотракторных масел и может применяться при оперативном контроле их качества.

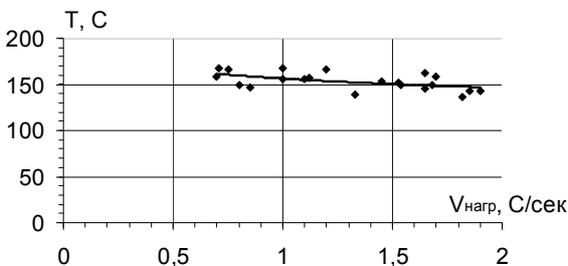


Рисунок 4 – Зависимость температур вспышек масла от скорости нагрева

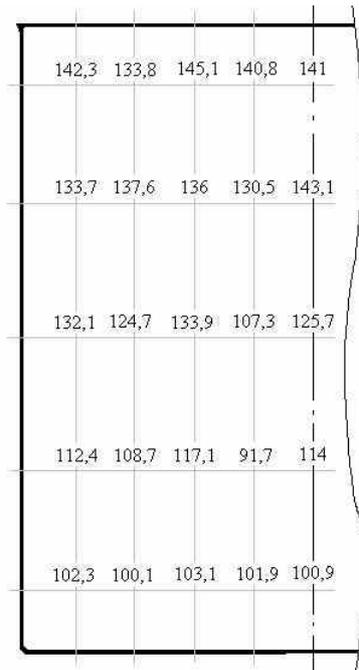
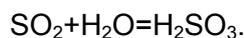


Рисунок 3 – Распределение температур вспышек в тигле при различном расположении термопары

К еще одному обязательному показателю относится определение серы в нефтепродуктах, в связи с чем существует необходимость исследования кондуктометрического метода применительно для определения серосодержащих компонентов в нефтепродуктах.

Основным методом анализа сернистых соединений в органических материалах в настоящее время является метод разложения, который заключается в сжигании пробы материала с последующим определением образующегося сернистого ангидрида  $SO_2$ . Методика измерения

предусматривает сжигание строго дозированной навески вещества, улавливание сернистого газа и поглощение его адсорбирующим веществом, а также количественное определение  $SO_2$  одним из физико-химических методов. При этом в качестве поглотителей чаще всего используют дистиллированную воду, которая хорошо поглощает сернистый ангидрид. Расщепление сернистого ангидрида в воде сопровождается образованием сернистой кислоты по уравнению



Сернистая кислота является слабой кислотой, неустойчивой в водных растворах. Ввиду нестабильности сернистой кислоты, она не может использоваться для количественных определений, так как легко разлагается под действием различных влияющих факторов (свет, температура, электрический ток). Поэтому, для анализа сернистых соединений сернистую кислоту доокисляют до сильной и устойчивой серной кислоты  $H_2SO_4$ , применяя различные химические методы. В этом случае, именно концентрация  $H_2SO_4$  в растворе будет пропорциональна содержанию серы в определяемом материале. Для ее количественного опреде-

ления чаще всего используют реакцию осаждения сульфата бария. Однако этот метод пригоден лишь для лабораторных исследований, и к тому же не обладает достаточной чувствительностью. Увеличения чувствительности определения серы можно достигнуть, если измерять электропроводность образовавшейся серной кислоты. Таким образом, кондуктометрический метод представляется весьма перспективным, в связи, с чем потребовалось провести исследования по возможности его применения для определения содержания серы в органических веществах, в частности в дизельном топливе.

Измерение электропроводности растворов на практике осуществляется как измерение сопротивления кондуктометрической ячейки, поэтому к ее конструкции предъявляются определенные требования, главное из которых – это неизменность постоянной ячейки. В настоящей работе для измерений использовалась кондуктометрическая ячейка, состоящая из двух электродов в виде параллельных цилиндрических стержней из графита диаметром 2 мм.

Для определения сопротивления ячейки при измерениях была использована схема трансформаторного моста с индуктивной связью между элементами, образующими плечи отношений.

Измерения с использованием трансформаторного моста проводились в неуравновешенном режиме работы моста с измерением разбаланса моста в его диагонали.

На частоте 50 Гц была экспериментально исследована электропроводность дистиллированной воды при поглощении ею сернистого ангидрида  $\text{SO}_2$  от сжигания проб топлива с разным содержанием серы.

В экспериментах первоначально осуществлялось окисление сернистой кислоты в серную с помощью 1,5%-ного раствора перекиси водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$  согласно методике, рекомендованной в [1]. Однако, как показали наши исследования, по мере снижения концентрации серы в анализируемых пробах быстро возрастает относительная ошибка определения ее концентрации, что связано с разложением перекиси водорода в процессе поглощения двуокиси серы. Процесс этот случайный и неконтролируемый, в связи, с чем результаты измерений имеют большой разброс. Применение других окислителей (йод, раствор аммиака) не привело к существенному улучшению положения.

Для устранения этого эффекта было предложено проводить окисление сернистого ангидрида озоном, постоянно подаваемым в определенном количестве в реакционную зону.

В наших исследованиях озон вводился непосредственно в дистиллированную воду барботированием и благодаря своей хорошей растворимости (при 20 °С – 0,688 г/л) насыщал ее. В присутствии воды происходит быстрое окисление сернистого газа озоном до серной кислоты, что позволило рекомендовать данный способ подготовки пробы для практического применения.

С использованием разработанного метода было установлено, что при измерении серы в нефтепродуктах в диапазоне  $(0,08-1,40) \cdot 10^3 \text{ г/м}^3$  окисление сернистого ангидрида озоном в водном растворе происходит по линейному закону. Погрешность определения серы в этом случае не превышает 10%.

Используя полученные результаты была разработана методика определения серы в нефтепродуктах с использованием кондуктометрического метода, а также прибор с использованием этого метода. Прибор включает в себя следующие основные элементы:

- кондуктометрическая ячейка с электродами для измерения проводимости раствора;
- безфитильная горелка для сжигания определенного объема масла;
- дозатор сжигаемого топлива;
- генератор озона;
- схема измерения со схемой управления.

Работа прибора заключается в следующем: испытуемый нефтепродукт (или его раствор в разбавителе) сжигается в горелке, в которую он попадает с помощью дозатора. Продукт сгорания с помощью воздушного насоса (аспиратора) проходит через ламповое стекло и просасывается через поглотительный раствор в кондуктометрической ячейке. В качестве поглотительного раствора в ячейке используется дистиллированная вода, в которую от генератора озона через компрессор подается воздушно-озоновая смесь. В измерительной ячейке происходит образование серной кислоты по описанному выше механизму. Изменение проводимости поглотительного раствора регистрируется измерительной схемой, пересчитывается в конкретное значение содержания серы и выдается на жидкокристаллический ин-

дикатор. Разработанный метод можно использовать для надежного определения серы, в нефтепродуктах начиная с концентрации 0,01%. В этом случае погрешность определения серы не превышает 10%.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований установлено, что для определения содержания серы в органических веществах можно эффективно использовать кондуктометрический метод. Практическая реализация данного метода позволила на его основе разработать прибор анализа серы в нефтепродуктах.

Основные выводы по исследованиям:

1 Изменение объема масла в диапазоне от 1 до 100 мл не оказывает влияния на результат измерения температуры. Температуры вспышки не изменяются в пределах погрешности измерения  $\pm 5$  °С и остаются равными 150 °С, что соответствует стандарту.

2 Установлена зависимость значений вспышки от изменения скорости нагрева тигля. При увеличении скорости нагрева смазочного масла с 4 до 12 °С/мин. температура вспышки уменьшается в 1,2 раза.

3 Изучено распределение температуры вспышки в тигле стандартного объема. Установлено, что при разных положениях термомпары разница температуры вспышки может достигать от 20 до 50 °С при разных интенсивностях нагрева.

4 Результаты экспериментов с минимальным количеством масла (капля) подтвердили основные закономерности вспышки с объемами от 1 до 100 мл. Так при расстоянии 8 мм от поверхности смазочного масла температура вспышки остается равной 150 °С в пределах ошибки измерения  $\pm 5$  °С.

5 Для определения содержания серы в нефтепродуктах предложен кондуктометрический метод.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Худякова, Т.Н. Теория и практика кондуктометрического и хромокондуктометрического анализа / Т.Н. Худякова, А.П. Крешков. -М.: Химия, 1976. -307 с.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:*

*параметры судового топлива, температура вспышки, содержание серы*

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:* Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, И.О. зам. директора ФГУП «СНИИМ»

*Духновский Николай Анатольевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГавт»*

*Калинин Алексей Вениаминович, аспирант ФГОУ ВПО «НГавт»*

*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:*

*630004, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»*

*630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»*

## **ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ЗДОРОВЬЕ РАБОТНИКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**Е.А. Савченко**

**THE INFLUENCE OF ENVIRONMENT'S QUALITY ON RAILWAY STAFF'S HEALTH**

«Siberian state transport university»

E.A. Savchenko

The care about staff's health Joint Stock Company Russian Railways must become the priority task, aimed to creating good positions of life and work and reducing bad influence of factors which lead to increasing the effect of the company's work.

Забота о здоровье работников ОАО «РЖД» должна стать приоритетной задачей, направленной на создание благоприятных условий жизнедеятельности с уменьшением воздействия вредных и неблагоприятных факторов, которые повлекут за собой повышение эффективности производственной деятельности Компании.

В XX веке произошло значительное изменение качества окружающей среды из-за резкого увеличения промышленного производства роста перевозок грузов и пассажиров, в связи с этим роста количества отходов, загрязняющих окружающую среду. Это изменение непосредственно влияет на здоровье населения, наносит огромный ущерб экономике, уменьшает трудовые ресурсы и создает опасность для здоровья не только настоящих, но и будущих поколений.

Одной из основных причин заболеваемости населения, наряду с социальными, генетическими и другими факторами, является длительное воздействие на организм человека загрязняющих веществ антропогенного происхождения, обладающих токсическим эффектом. Принято считать, что 30% заболеваний являются экологически обусловленными [1].

Заболеваемость населения – это динамический процесс, который находится в тесной связи с социально-экономическими условиями и качеством окружающей среды.

Следует отметить, что ОАО «РЖД», являясь общенациональной корпорацией, вовлекающей в свою деятельность значительную часть территории и населения страны, наряду с выполнением своей прямой функции – основного национального перевозчика грузов и пассажиров – при осуществлении своей деятельности несет ответственность также и за экологическую безопасность, здоровье человека и благополучие окружающей среды. Никакие производственные показатели не должны ставиться выше, чем обеспечение безопасности человека.

Обеспечение права граждан России на благоприятную окружающую среду принято как одна из стратегических целей в программном документе развития железнодорожной отрасли России – «Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года».

Главной целью ОАО «РЖД» в сфере экологии является забота о благополучии природной среды и здоровье людей.

Следует отметить, что особое беспокойство в ОАО «РЖД» вызывает влияние окружающей среды на здоровье работников Компании. Загрязнение атмосферного воздуха (рисунок 1) вызывает у людей большую озабоченность, чем любой другой вид разрушения окружающей среды.

Следует сказать, что снижение достигнуто за счет перевода котельных на экологически чистые виды топлива (газ), повышения эффективности сжигания топлива, внедрения электроотопления, ликвидации малодеятельных угольных котельных, реконструкции действующего пылегазоулавливающего оборудования, внедрения новых технологий очистки и улавливания вредных веществ.

Необходимо также отметить еще один аспект деятельности ОАО «РЖД» в сфере охраны атмосферного воздуха – снижение акустического воздействия подвижного состава (шума) и защита от пыли.

Рассмотрим использование водных ресурсов на предприятиях железнодорожного транспорта (рисунок 2). Отметим, что потребление воды за анализируемый период уменьшается за счет сокращения нерационального расходования воды, широкого внедрения во-

досберегающих технологий, систем оборотного водоснабжения и повторного использования воды (в целом по ОАО «РЖД» водооборот составил 55,3%), нормирования и приборного учета водопотребления.

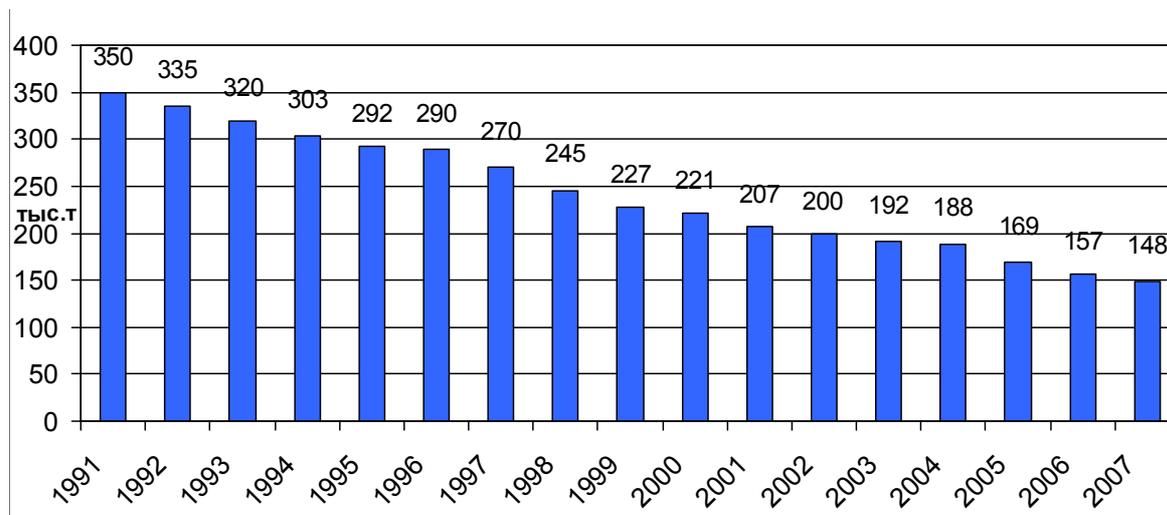


Рисунок 1 – Динамика выбросов вредных веществ в атмосферный воздух от стационарных источников за период 1991-2007 гг., тыс. т



Рисунок 2 – Использование воды, млн. м³

По сравнению с 1991 г. произошло сокращение на 80% сбросов загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты. Снижение сбросов загрязненных сточных вод достигнуто за счет реконструкции и строительства канализационных очистных сооружений, внедрения маловодных технологий при отмывке внутренних поверхностей цистерн, мойке пассажирских вагонов и деталей подвижного состава.

На данный момент самый острый вопрос в сфере охраны водных ресурсов – продолжение сброса сточных вод без очистки в поверхностные водные объекты и на рельеф местности сбросов.

Использование и обезвреживание отходов уделяется особое внимание, так за период 1995–2007 г.г. возросло многократно. Практически все наиболее опасные отходы 1 и 2 классов передаются для обезвреживания специализированным сторонним организациям. Отходы 4 и 5 классов опасности, как практически неопасные, не создают для ОАО «РЖД» больших проблем по использованию и захоронению. Основные проблемы возникают при работе с отходами 3 класса опасности, для использования и утилизации которых требуются экологически чистые технологии [2].

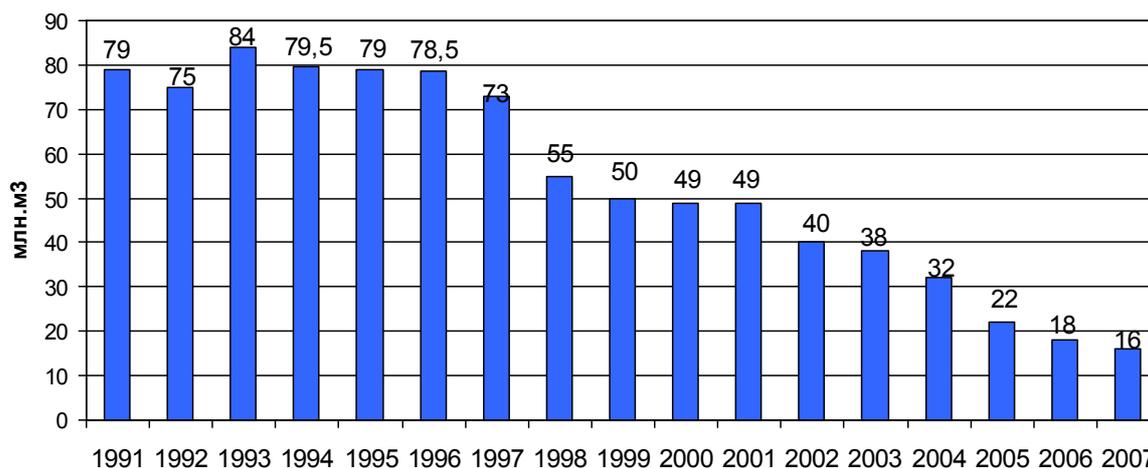


Рисунок 3 – Динамика сбросов загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты, млн. м³

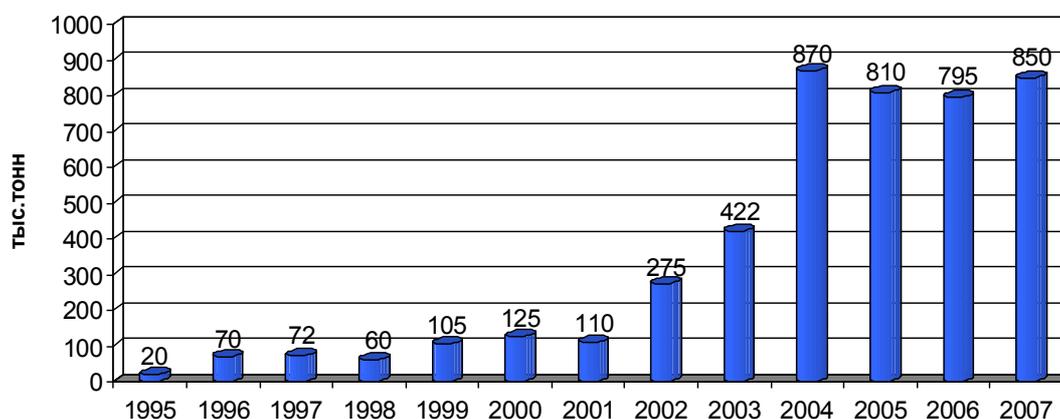


Рисунок 4 – Динамика использования и обезвреживания отходов, тыс. т

Представленный анализ позволяет нам сделать вывод, что происходит сокращение по всем видам загрязнения, исключением является использование и обезвреживание отходов.

Вместе с тем стоит отметить, что на заметное снижение негативного воздействия ОАО «РЖД» на окружающую среду в определенной степени оказали влияние и другие факторы – снижение объемов перевозок в первой половине 90-х годов в связи с общим кризисом экономики России и передача части источников загрязнений в муниципальную собственность.

Рассмотрев экологическую ситуацию в Компании, необходимо рассмотреть вопрос который касается здоровья работников отрасли. В условиях реформирования ОАО «РЖД» необходимо обеспечить внедрение современных методов социально-гигиенического мониторинга которые в последствии обеспечат: установление факторов, оказывающих вредное воздействие на работников, и их оценку, а также позволят прогнозировать состояние их здоровья.

Профилактика нарушений состояния здоровья работников можно осуществлять разными путями. Первичная направлена на причину того или иного заболевания. Большинство мероприятий, включая гигиеническое нормирование воздействие окружающей среды, предусматривает либо снижение их воздействия до безопасных уровней, либо полное устранение вредного и опасного факторов. Целью вторичной профилактики является раннее выявление предпатологических состояний, тщательное медицинское обследование внешне здоровых людей, подвергавшихся воздействию неблагоприятных факторов. Третичная профилактика (реабилитация) – это комплекс мер по предотвращению осложнений, которые могут возникнуть в ходе уже развившегося заболевания. Следует отметить, что это наименее эффективный способ профилактики [3].

Несмотря на постоянную планомерную работу по сокращению вредного воздействия окружающей среды на здоровье работников Компании не уменьшается число профессиональных заболеваний на железнодорожном транспорте.

Следовательно, разработка методологии определения, оценки и профилактики производственно-профессионального риска железнодорожников является одной из основных задач социально-гигиенического мониторинга на железнодорожном транспорте.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Протасов, В.Ф. Экология, здоровье и природопользование в России / В.Ф. Протасов, А.В. Молчанов. -М., 1995. -524 с.

2 Экологическая стратегия ОАО «Российские железные дороги». -М., 2009. -56 с.

3 Щетинин, А.Н. Медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности на железнодорожном транспорте: учеб. пособие / А.Н. Щетинин. -Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2006. -284 с.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* окружающая среда, здоровье работников

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* Савченко Е.А. ГОУ ВПО «СГУПС»

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

## **ОПЫТ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ**

Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиала  
ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей  
сообщения»  
ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей  
сообщения»

**Е.А. Савченко, А.Г. Туйгунова**

### **EXPERIENCE OF DIAGNOSTICS OF THE TECHNICAL CONDITION OF TRANSFORMERS OF TRACTION SUBSTATIONS FOR INCREASE OF RELIABILITY AND SERVICE LIFE PROLONGATION**

Krasnoyarsk institute of a railway transportation branch of «Irkutsk state transport univer-

sity»

«Irkutsk state transport university»

E.A. Savchenko, A.G. Tuijunova

Inclusion of additional criteria in the model, estimating (appreciating) actual from object is considered (examined). The further increase of reliability and technical and economic indicators of traction substations, devices of an electrical supply of not traction consumers will be made for the account automated systems of operatively-technological steering (control), a remote monitoring and preliminary treatment of devices, the power equipment, with data transmission on digital communication channels in analytical and dispatching control centers.

Рассмотрено включение дополнительных критериев в модель, оценивающей фактическое состояние объекта. Дальнейшее повышение надежности и технико-экономических показателей тяговых подстанций, устройств электроснабжения нетяговых потребителей будет производиться за счет применения автоматизированных систем оперативно-технологического управления, удаленного мониторинга и диагностики устройств, силового оборудования, с передачей данных по цифровым каналам связи в аналитические и диспетчерские центры управления.

Важнейшей задачей электроэнергетики является поддержание работоспособности электрооборудования после расчетного срока службы (25-30 лет). Возможности по замене электрооборудования весьма ограничены. Опыт эксплуатации силовых трансформаторов показывает, что после отработки нормативного срока службы 25 лет [1], значительная доля существующего парка трансформаторов сохраняет работоспособность и их замена на новые нецелесообразна при условии соответствия тяговым нагрузкам. Для поддержания электрооборудования тяговых подстанций в работоспособном состоянии требуется системное техническое обслуживание. Компания ОАО «Российские железные дороги» осуществляет стратегию внедрения техники с глубоким техническим анализом состояния оборудования для своевременного выявления его предаварийного состояния. Энергетическое обследование электрооборудования тяговых подстанций должно включать в себя анализ технического состояния и эффективности использования трансформаторного оборудования.

Силовые трансформаторы (СТ) тяговых подстанций являются одними из наиболее значимых элементов системы тягового электроснабжения (СТЭ), поэтому эксплуатация их связана с необходимостью контроля технического состояния. Для успешного решения данной проблемы важно выявить основные закономерности повреждаемости силовых трансформаторов в эксплуатации, установить наиболее часто встречающиеся повреждения.

*Причины повреждаемости трансформаторов.* Контроль состояния силовых трансформаторов во время их работы и при периодических обследованиях входит в состав профилактических мероприятий по поддержанию работоспособности. Выявление возникающих в работе дефектов, их обнаружение на ранней стадии развития, а также своевременное, до возникновения аварийной ситуации, принятие мер по ликвидации дефектов удлиняет сроки службы силовых трансформаторов. Дефекты трансформаторов могут быть вызваны естественными факторами: рабочими токами, токами короткого замыкания (к.з.), рабочими напряжениями и атмосферными перенапряжениями, воздействиями окружающей среды, а также «человеческим фактором»: ошибками при конструировании, монтаже и ремонтах трансформаторов. Повреждаемость СТ существенно зависит от срока эксплуатации трансформатора. Повышенная повреждаемость СТ отмечается в первые годы эксплуатации. В этот период эксплуатации проявляются дефекты изготовления оборудования. В течение следующих 3-15 лет отмечается некоторая стабильность работы СТ, что обусловлено небольшой интен-

сивностью процессов его старения. Повреждаемость трансформаторов начинает возрастать при их эксплуатации более 25-30 лет, это связано с повышением процесса их старения [2]. По данным Дорожной электротехнической лаборатории 27% от общего парка трансформаторов тяговых подстанций Красноярской железной дороги находятся в зоне первого максимума, 17% – в зоне второго.

Дефекты условно делятся на две группы: конструктивные (обусловленные несовершенством конструкции и недостатками при сборке и монтаже СТ), развивающиеся под действием внутренних и внешних факторов. Кроме того, все дефекты классифицированы по узлам и системам трансформатора: дефекты твердой (бумажной) изоляции, масла, обмоток, магнитопровода, системы регулирования и т.д.

Контроль состояния трансформаторов непрерывно совершенствуется, практически с момента их промышленной эксплуатации. Отсутствие надлежащих критериев оценки состояния СТ вызывало необходимость их регулярного обслуживания по специально составленным графикам (по регламенту). Это способствовало поддержанию состояния трансформаторов на необходимом уровне, достаточном для того, чтобы избежать аварийных отключений при их эксплуатации. Однако принцип обслуживания по регламенту предполагает избыточность мероприятий с целью обеспечения гарантированного восстановления трансформатора в условиях недостаточности информации о его действительном состоянии. По мере развития методов диагностики область регламентного обслуживания сужалась. Это становилось возможным по мере возрастания числа критериев оценки состояния за счет развития инструментальных средств.

*Анализ методов диагностики технического состояния силовых трансформаторов тяговых подстанций.* Определить точное место возникновения дефекта, прогнозировать его развитие, определить уровень опасности позволяет совершенствование методов диагностики.

На практике различают оперативную диагностику – диагностику оборудования в процессе эксплуатации (в рабочем состоянии) и диагностику в процессе ремонта – диагностику на отключенном оборудовании в процессе вывода его в ремонт.

Своевременная диагностика технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций позволяет предупредить возникновение аварийных ситуаций в СТЭ. При этом значительно снижаются затраты на ремонты, появляется возможность оценки СТ с определением запаса его работоспособности.

Методы диагностики трансформаторов делятся на традиционные (при его отключении) и нетрадиционные (в процессе эксплуатации).

В настоящее время для определения технического состояния СТ тяговых подстанций используется следующая программа работ:

1) анализ аварийности и характерных дефектов трансформаторов, создание базы данных по каждому трансформатору;

2) сбор технической информации (о режимах работы, нагрузках потребителей, уровнях токов к.з. и рабочего напряжения, особенностях эксплуатации, климатических условиях и др.);

3) статистическая обработка полученных результатов эксплуатационных измерений с оценкой достоверности и эффективности отдельных методов диагностики трансформаторов;

4) технический отчет обследования с заключением о состоянии трансформатора и текущем диагностическом контроле, а при необходимости – объеме и методике проведения ремонтных работ;

5) сопоставление результатов диагностических обследований и ремонтов (вскрытий) трансформаторов.

Для диагностики силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций используют следующие методы:

1) проведение электрических измерений на отключенном трансформаторе (измерение сопротивления изоляции обмоток и вводов, сопротивления обмоток постоянному току, потерь холостого хода и полного сопротивления короткого замыкания);

2) контроль характеристик изоляции под рабочим напряжением;

3) физико-химические анализы трансформаторного масла с определением содержания и состава ионола, фурановых производных, объемного удельного сопротивления в объеме требований «Норм испытания электрооборудования»;

- 4) хроматографический анализ трансформаторного масла в силовых трансформаторах;
- 5) тепловизионное обследование трансформатора и его высоковольтных вводов;
- 6) контроль характеристик изоляции под рабочим напряжением;
- 7) вибрационное обследование трансформатора;
- 8) ультразвуковое обследование трансформатора;
- 9) зондирование обмоток трансформатора низковольтными импульсами;
- 10) измерение наличия и уровня частичных разрядов (ЧР) в изоляции;
- 11) определение мутности масла оптоэлектронными методами.

Кроме диагностического контроля для поддержания требуемой эксплуатационной надежности силовых трансформаторов тяговых подстанций необходимо проведение капитальных ремонтов. Однако необоснованное решение о проведении капитального ремонта СТ, его объеме и технологии может привести не только к неоправданным материальным затратам, но и к снижению ресурса, надежности и его отказу. А вот применение комплексного диагностического обследования позволяет не только выявить развивающиеся дефекты, оценить уровень их опасности, но и обосновать необходимость, объем и сроки проведения капитального ремонта.

Повышение надежности и технико-экономических показателей тяговых подстанций производится за счет применения автоматизированных систем оперативно-технологического управления, удаленного мониторинга и диагностики силового оборудования с передачей данных по цифровым каналам связи в аналитические и диспетчерские центры управления. Внедрение таких систем позволяет отслеживать работу устройств электроснабжения в режиме реального времени, извлекать из электронного архива параметры событий штатных и аварийных ситуаций [3]. Имеется опыт эксплуатации оборудования тяговых подстанций с применением диагностики и мониторинга на Свердловской, Горьковской и Октябрьской железных дорогах. Результаты показывают необходимость более широкого применения малолюдных технологий эксплуатации с переходом от планово-предупредительной системы к обслуживанию по фактическому состоянию. К сожалению, более широкое применение систем диагностики оборудования тяговых подстанций по всей сети железных дорог, и в частности на Красноярской железной дороге, сдерживает недостаточное финансирование инвестиционных программ по хозяйству электроснабжения.

*Заключение.* В ближайшие годы по экономическим и техническим причинам не ожидается существенного обновления трансформаторного парка. Задачей сохранения надежной передачи и распределения электрической энергии в системе тягового электроснабжения является организация эффективного контроля за состоянием трансформаторного оборудования и определение его работоспособности. Современный уровень диагностики СТЭ в непрерывном технологическом процессе позволяет выявить основные закономерности повреждаемости силовых трансформаторов в эксплуатации, установить наиболее часто встречающиеся повреждения и далее разработать методы оценки изменения технического состояния силовых трансформаторов в эксплуатации и поддержания его на заданном уровне.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. -М.: Изд-во стандартов. -1986.

2 Лоханин, А.К. Обеспечение работоспособности маслonaполненного оборудования после расчетного срока службы / А.К. Лоханин, В.В. Соколов // Электро. -2002. -№1. -С. 10-16.

3 Попов, С.В. Новинки техники и технологии: основные направления / С.В. Попов // Евразия Вести. -2007. -№ 4. -С. 5.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* трансформаторы тяговых подстанций, диагностика

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:* Савченко Евгений Андреевич, канд. техн. наук, доцент Красноярский ИЖТ филиал ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

Туйгунова Альбина Григорьевна, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:* 660028, г. Красноярск, ул. Л.Кеңзовели, 89, Красноярский ИЖТ филиал ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ ИЗОЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

А.М. Худоногов, А.Г. Туйгунова,

PERFECTION OF TECHNOLOGY OF MAINTENANCE ИЗОЛЯЦИОННОЙ OF SYSTEM OF TRANSFORMERS OF TRACTION SUBSTATIONS

«Irkutsk state transport university»

A.M. Hudonogov, A.G. Tujgunova

One of the main ways of maintenance of operational reliability in such conditions is the organization of an effective control of a condition of the working transformer. In article the analysis of a maintenance of transformers of traction substations of the Krasnoyarsk railway is resulted. Recommendations stage-by-stage realization of two approaches of the control are resulted: complex inspection of transformers taking into account features of a climate and monitoring of a condition of the transformer and parameters of a mode of behavior.

Одним из главных путей поддержания эксплуатационной надежности в таких условиях является организация эффективного контроля состояния работающего трансформатора. В статье приведен анализ технического содержания трансформаторов тяговых подстанций Красноярской железной дороги. Приведены рекомендации поэтапной реализации двух подходов контроля: комплексное обследование трансформаторов с учетом особенностей климата и мониторинга состояния трансформатора и параметров режима работы.

Важнейшим элементом, определяющим надежность системы электроснабжения, в частности систем тягового электроснабжения, являются силовые (тяговые) маслонаполненные трансформаторы и их маслонаполненные вводы.

В настоящее время на сети железных дорог России находится в эксплуатации около 4500 понижающих и силовых трансформаторов (СТ) тяговых подстанций, в том числе около 2200 трансформаторов 110, 220 кВ. Более 60% трансформаторов тяговых подстанций устарели и морально, и физически [3]. Быстрый рост доли СТ, отработавших нормативный срок службы, определяет необходимость продления их работоспособности, повышения экономичности и поддержания надежности работы системы электроснабжения в целом. Одним из главных путей поддержания эксплуатационной надежности в таких условиях является организация эффективного контроля состояния работающего трансформатора.

*Анализ состояния трансформаторов Красноярской ЖД.* Доля трансформаторов тяговых подстанций, выработавших определенный стандартом минимальный срок службы – 25 лет, на Красноярской железной дороге (КрЖД) составляет 45%, 23% отработали 40 лет. Не всегда оправдана замена трансформаторов на новые, поскольку их ресурс еще достаточен для эксплуатации. По статистике распределение отказов и повреждений СТ и высоковольтных вводов тяговых подстанций в зависимости от сроков эксплуатации имеют два максимума: в первые 10-15 лет и в последние 30 лет. На КрЖД 27% от общего парка тяговых трансформаторов находятся в зоне первого максимума, 17% – в зоне второго.

На Красноярской железной дороге ранняя диагностика технического состояния маслонаполненного оборудования проводится с 1997 г. Анализ газов, растворенных в трансформаторном масле, проводится на хроматографическом комплексе «Хроматэк-2000М», с использованием программного обеспечения «Диагноз» для выявления внутренних дефектов оборудования.

Соотношение маслонаполненного оборудования КрЖД, находящегося в эксплуатации более 25 лет распределяется следующим образом: на контроле состоит 173 силовых трансформаторов (из них 74 тяговых трансформатора); 22 маслонаполненных ввода трансформатора; 240 высоковольтных вводов масляных выключателей.

Внутренние дефекты тяговых трансформаторов, выявленных методом хроматографического анализа растворенных газов:

- термические дефекты (11 трансформаторов);
- процессы износа изоляции выявлены в 5 трансформаторах с длительными сроками эксплуатации;
- электрические дефекты выявлены в 9 тяговых трансформаторах, из них в четырех первого года эксплуатации.

В 9 трансформаторах проведены средние ремонты, повреждения в них были устране-

ны, в основном выполнено восстановление выгоревших контактов РПН и протяжка отводов обмоток. Достоверность результатов диагностических обследований подтверждалась при вскрытиях во время ремонтов. Отказов в работе оборудования не происходило.

В настоящее время на особом контроле с предполагаемыми повреждениями состоит 16 тяговых трансформаторов, в 5 выявлены дефекты электрического характера, из них один с аварийным развитием дефекта. В 6 трансформаторах предполагается термический дефект, в двух из них нагрев свыше 700 °С, в пяти – износостойкие процессы, два из них находятся в эксплуатации более 40 лет. Продлить срок эксплуатации можно при условии качественного и полного диагностирования, раннего устранения обнаруженных дефектов. Грамотная эксплуатация трансформаторов предполагает наличие объективной оценки их технического состояния, которая требует организации объективного контроля трансформатора на текущий момент времени и прогнозирование его работоспособности.

*Организация контроля состояния СТ.* К основным причинам необходимости повышения эффективности системы диагностики следует отнести:

- неэффективность системы регламентных испытаний;
- увеличение числа единиц стареющего оборудования тяговых подстанций;
- экономическую необходимость продления эксплуатационного ресурса оборудования.

Использование трансформаторов с остаточным ресурсом, в частности по витковой изоляции, требует объективной оценки степени ее износа и непрерывного контроля (мониторинга) вырабатываемого ресурса, что позволяет понизить вероятность неожиданного выхода их из строя. Выявление возникающих в работе дефектов, их обнаружение на ранней стадии развития, а также своевременное, до возникновения аварийной ситуации, принятие правильных решений по ликвидации дефектов обеспечивают высокий коэффициент готовности, сокращение времени простоя, снижение затрат на ремонты, продление срока службы оборудования [1].

В организации контроля состояния трансформаторов могут быть реализованы два подхода:

- выполнение разовых комплексных обследований трансформаторов;
- использование систем непрерывного (стационарного) контроля.

Главная особенность изоляции масляных трансформаторов – использование бумажно-масляной изоляции с охлаждением циркулирующим маслом в баке, защищенным от воздуха системой дыхания. Масло является одновременно и изоляционной, и охлаждающей средой, имеет контакт как с токоведущими конструкциями, так и с магнитопроводом, поэтому несет в себе максимум полезной информации.

В основе методов испытаний и измерений трансформаторов тяговых подстанций (традиционные и нетрадиционные) [2] положены следующие принципы:

– при определении объема испытаний трансформаторов сделана ориентация на те методы диагностирования, которые прошли эксплуатационную проверку;

– предпочтение отдано методам диагностирования, которые дают возможность организовать контроль электрооборудования без его отключения, под рабочим напряжением. К ним относятся базовые методы: хроматографический анализ газов, растворенных в масле, тепловизионный контроль, комплекс методов по определению качества трансформаторного масла и оценки состояния изоляции: измерение частичных разрядов, вибрационное обследование с целью оценки степени прессыковки и деформации обмоток, акустическая локация места возникновения частичных разрядов. Существуют дополнительные методы, позволяющие уточнить диагноз: инфракрасная спектроскопия трансформаторного масла, изменение показателя оптической мутности масла вводов, определение класса промышленной чистоты масла, измерение тока и потерь холостого хода на пониженном напряжении и др.

Теоретически важным является определение степени полимеризации образцов изоляции из зоны, где изоляция подвержена наибольшему разрушению. На практике это приводит к проведению капитального ремонта трансформатора, состоящего в разгерметизации активной части, сливе масла, отбору образцов изоляции из труднодоступной зоны обмоток, восстановлению поврежденной в месте отбора образцов изоляции и т.д. Капитальный ремонт должен проводиться только в случае, когда имеют место достаточные основания ожидания значительного теплового старения витковой изоляции. Достоверность этого метода контроля будет наибольшей, если образцы изоляции брать действительно из зоны с наибольшим старением изоляции, а не из наиболее удобной для отбора зоны. Если нагрузка трансформатора тяговой подстанции на протяжении всего срока эксплуатации не превыша-

ла 50% номинальной и температура верхних слоев масла была ниже допустимой на 30-40 °С, очевидно, что через 30-40 лет эксплуатации термический износ незначителен и поэтому проведение дорогостоящего капитального ремонта не имеет смысла.

На Красноярской железной дороге с 1997 года Дорожной электротехнической лабораторией проводится хроматографический анализ растворенных в масле газов. Накоплена статистическая база данных по каждому трансформатору тяговых подстанций. Как правило, у трансформаторов, изоляция которых приближается к предельному состоянию, фиксируется аномально высокое содержание окиси и двуокиси углерода.

Процесс старения изоляции зависит еще от степени увлажнения и загрязнения изоляционных промежутков, чему способствуют процессы старения трансформаторного масла, продукты которого откладываются на поверхности изоляции, ускоряют процесс ее деградации, снижают ее изоляционные характеристики и затрудняют отвод тепла. Одним из косвенных методов является определение фурановых соединений в масле. Высокое содержание этого показателя является основанием для проведения отбора образцов изоляции с целью определения степени полимеризации бумажной изоляции. Если небольшое содержание фурановых соединений в масле согласуется с другими косвенными показателями, свидетельствующими о небольшом старении изоляции, то нет необходимости в проведении отбора образцов для определения степени полимеризации бумажной изоляции.

Контроль СТ в полном объеме с применением всех известных методов диагностирования, в том числе требующих отключения оборудования, проводится лишь в исключительных случаях при выявлении значительных изменений технического состояния оборудования. В большинстве практических случаев целесообразный комплекс методов определяется экспертным путем с учетом накопленного опыта эксплуатации, анализа повреждаемости трансформаторов, результатов контроля и ремонта.

Поиск оптимального набора методов контроля в каждом конкретном случае позволяет снизить материальные затраты на проведение измерений и вычислений без снижения вероятности распознавания дефекта.

Средства мониторинга и диагностики состояния СТ, применение экспертных систем в организации производственных процессов позволяют эффективно изменить систему обслуживания в зависимости от состояния трансформаторов тяговых подстанций.

*Заключение.* Наряду с плановой заменой тягового (силового) трансформатора важнейшей задачей является продление его рабочего ресурса за счет комплексного применения современных методов диагностики и технологий ремонта по техническому состоянию.

Диагностика тяговых (силовых) трансформаторов является эффективным средством повышения надежности их работы. Целесообразна поэтапная реализация двух подходов контроля:

- комплексное обследование трансформаторов с учетом особенностей климата;
- мониторинг состояния СТ и параметров режима работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Черемисин, В.Т. Система комплексного обследования тяговой энергетики / В.Т. Черемисин, М.М. Никифоров, Т.Е. Никишкин // Евразия Вести. -2007. -№4. -С. 12.

2 Алексеев, Б.А. Обследование состояния силовых трансформаторов // Электрические станции. -2003. -№5. -С. 74-80.

3 Николаев, Г.А. Техническое состояние маслonaполненного оборудования тяговых подстанций и система его комплексного диагностирования. / Г.А. Николаев, А.В. Кузнецов // Вестник ВНИИЖТ. -2003. -№4. -С. 33-37.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* трансформаторы тяговых подстанций, диагностика

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:* Худоногов Анатолий Михайлович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

*Почтовый адрес:* Туйгунова Альбина Григорьевна, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»  
664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЯХ

ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

А.В. Крюков, В.П. Закарюкин, Н.В. Бужакова

### MODELLING OF ELECTROMAGNETIC FIELDS AT RAILWAY STATIONS

«Irkutsk state transport university»

A.V. Krjukov, V.P. Zakaryukin, N.V. Bujakova

The technique of measurement of electromagnetic fields in the conditions of the electrified railway is developed.

Разработана методика измерения электромагнитных полей в условиях электрифицированной железной дороги.

Межотраслевые правила по охране труда [1] и санитарные нормы [2] устанавливают предельно допустимые уровни (ПДУ) напряженности воздействующих электрических и магнитных полей частотой 50 Гц в производственных условиях в течение смены соответственно равными 5 кВ/м и 80 А/м. Напряженности определяются на высоте 1,8 м от поверхности земли, а также и в других точках рабочего пространства. Согласно ПДУ [3] напряжённость магнитного поля промышленной частоты в жилых помещениях не должна превышать 8 А/м. Более поздние уточнения [4-6] устанавливает ПДУ для жилых помещений в 4 А/м, а для сельской территории – 8 А/м. По помехоустойчивости уровни напряжённости магнитного поля в зависимости от степени жёсткости нормируются в пределах от 1 А/м до 100 А/м [7]. Напряженности электромагнитного поля (ЭМП) могут определяться экспериментально или на основе математического моделирования.

*Общая постановка задачи.* Тяговые сети (ТС) железных дорог переменного тока могут создавать значительные электромагнитные поля (ЭМП). В ряде случаев, особенно при прохождении трассы дороги по сельской территории, уровень напряженности этих полей может превосходить ПДУ. В работе [8] отмечается, что в условиях электрифицированной железной дороги трудно обеспечить получение экспериментальных данных, отвечающих максимальным уровням напряженности ЭМП, поэтому рекомендуется исследования ЭМП, создаваемых тяговыми сетями, как на эксплуатируемых, так и на вновь создаваемых объектах, выполнять на основе математического моделирования. Для выполнения такого моделирования можно использовать методику индикаторных проводов, разработанную в ИргУПСе [9]. Эта методика позволяет рассчитывать напряженности ЭМП для заданной схемно-режимной ситуации.

*Методика моделирования.* Для моделирования ЭМП может применяться программный комплекс расчетов режимов в фазных координатах FAZONORD, созданный в ИргУПСе. Этот комплекс позволяет производить полнофункциональное моделирование многопроводных линий с любым расположением и соединением проводов при учете взаимоиндуктивных и емкостных связей. Если какой-то провод не связан с другими, то его напряжение по отношению к земле определяется потенциалом электрического поля в месте расположения провода. Применяя изолированный индикаторный провод для определения потенциалов на разных высотах и расстояниях от многопроводной системы, можно вычислить составляющие напряженности электрического поля. Например, вертикальная составляющая поля, определяемая разностью потенциалов проводов  $\Delta U$ , размещенных на различных высотах при небольшом их перепаде  $\Delta Y$ , определяется по формуле

$$\bar{E}_y = \frac{\Delta U}{\Delta Y}.$$

Начало координат предполагается в центре трассы многопроводной системы, ось  $Y$  направлена вертикально вверх, ось  $X$  – вдоль поверхности земли в правосторонней системе координат перпендикулярно оси дороги.

Для определения напряженности магнитного поля требуется два индикаторных провода  $I_1$  и  $I_2$ , на конце которых установлена перемычка, так что разность напряжений в их начале определяется наводимой в контуре ЭДС. В соответствии с законом электромагнитной индукции  $X$  – составляющая напряженности магнитного поля определяется при вертикальном

расположении индикаторных проводов (провод  $I_1$  расположен выше провода  $I_2$ ) по следующему соотношению

$$\bar{H}_x = \frac{\bar{U}_{I1} - \bar{U}_{I2}}{j\omega\mu_0 S} = \frac{\bar{U}_{I1} - \bar{U}_{I2}}{\sqrt{-1} \omega \mu_0 S},$$

где  $\bar{U}_{I1}, \bar{U}_{I2}$  – напряжения индикаторных проводов;

$\omega = 314$  рад/с;

$\mu_0$  – магнитная постоянная;

$S$  – площадь контура между индикаторными проводами.

Напряжения  $\bar{U}_{I1}$  и  $\bar{U}_{I2}$  определяются путем расчета режима электрической сети, включающей изучаемую систему проводов. Указанная особенность позволяет, в отличие от известных методик, реализовать системный подход к моделированию ЭМП, при котором напряженности рассчитываются не для локального объекта, а с учетом его неразрывной связи со сложной электроэнергетической системой.

Вертикальная составляющая напряженности магнитного поля  $\bar{H}_y$  определяется аналогично, только индикаторные провода располагаются горизонтально.

Вычисление величины вектора напряженности электрического или магнитного поля путем непосредственного суммирования пространственных составляющих в квадратурах недопустимо, поскольку эти составляющие являются комплексными числами, а суммировать можно только мгновенные значения пространственных составляющих с учетом их начальных фаз. Поле при этом обладает эллиптической поляризацией. После перехода от комплексных действующих значений  $\bar{H}_x = H_x \cdot e^{j\phi_x}$ ,  $\bar{H}_y = H_y \cdot e^{j\phi_y}$  к временной зависимости можно получить модуль напряженности поля в функции времени в следующем виде

$$H(t) = \sqrt{2} \sqrt{H_x^2 [\sin(\omega t + \phi_x)]^2 + H_y^2 [\cos(\omega t + \phi_y)]^2},$$

причем направление вектора напряженности в пространстве меняется в течение периода в соответствии с поляризацией поля. Максимальное значение  $H_{\max}$  напряженность поля имеет в моменты времени, определяемые уравнением

$$t_{\max} = \frac{1}{2\omega} \left[ \arctg \frac{2H_{cs}^2}{(H_s^2 - H_c^2)} + \pi \right],$$

где

$$H_c^2 = (H_x \cos \phi_x)^2 + (H_y \cos \phi_y)^2;$$

$$H_s^2 = (H_x \sin \phi_x)^2 + (H_y \sin \phi_y)^2;$$

$$H_{cs}^2 = H_x^2 \sin \phi_x \cos \phi_x + H_y^2 \sin \phi_y \cos \phi_y.$$

Эффективное значение определяется делением максимального значения на  $\sqrt{2}$ .

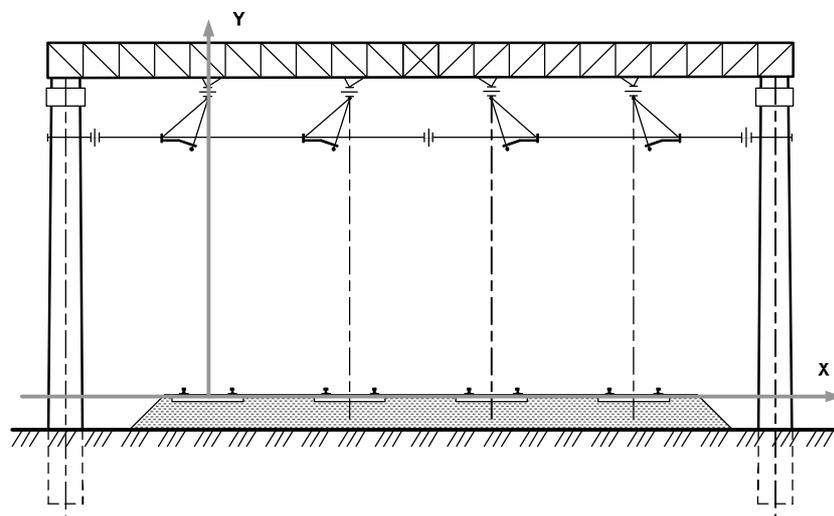


Рисунок 1 – Четырехпунктный участок контактной сети

Предлагаемая методика применима для расчета электромагнитных полей, создаваемых тяговыми сетями (ТС) электрифицированных железных дорог переменного тока как на перегонах, так и на территориях железнодорожных станций (ЖДС). Расчеты ЭМП в последнем случае имеют особую актуальность, так как на ЖДС присутствует значительно число людей и применяются наиболее жесткие нормы по уровням ЭМП.

*Результаты моделирования.* Моделирование осуществлялось применительно к ЖДС, разрез контактной сети которой показан на рисунке 1. Ввиду достаточно низкого напряжения в ТС превышение ПДУ по электрическому полю невозможно и потому выполнялись расчеты напряженности магнитного поля, зависящей от тока в ТС, который может достигать в сумме по всем проводам контактной подвески нескольких килоампер. Индикаторные провода располагались высоте 2,2 м (0,4 м – высота платформы, 1,8 м – нормативная высота определения ЭМП по [2]). Результаты моделирования в виде зависимостей  $H_x = H_x(X)$ ,  $H_y = H_y(X)$  и  $H_{max} = H_{max}(X)$  представлены на рисунках 2 и 3.

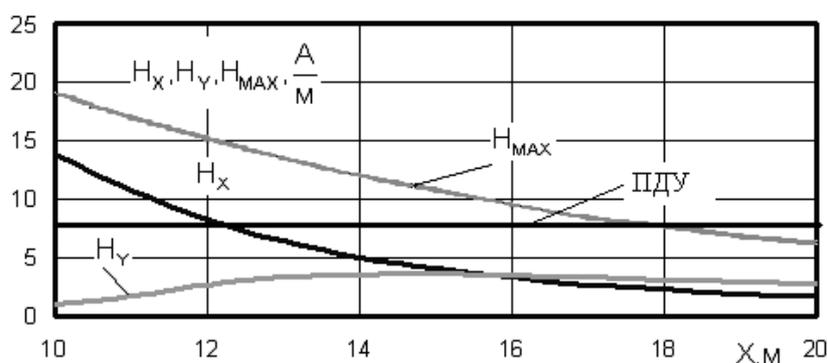


Рисунок 2 – Напряженности магнитного поля на пассажирской платформе

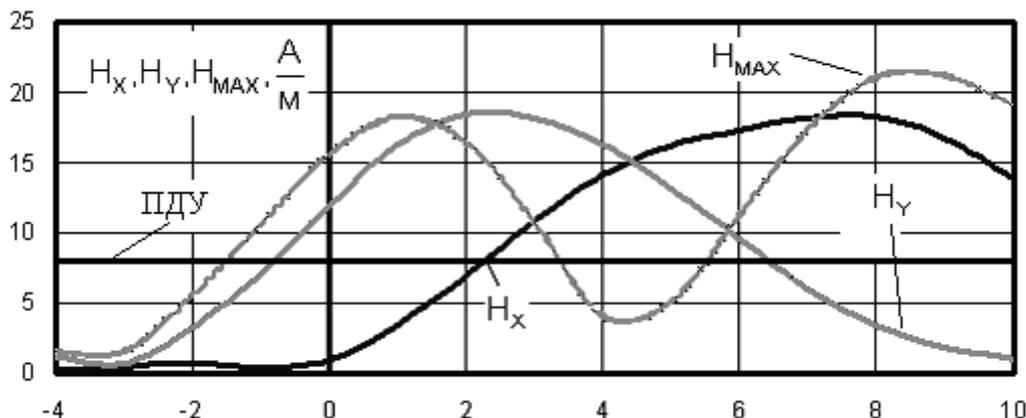


Рисунок 3. График напряжённостей магнитного поля на путях

**Выводы:**

1 Предложена методика, позволяющая определять напряженности магнитного поля на территориях ЖД станций. Методика основана на расчете режимов системы тягового электроснабжения в фазных координатах.

2 В результате моделирования установлено, что в некоторых местах территории станции возможно превышение предельно допустимых уровней напряженности магнитного поля.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Межотраслевые правила по охране труда (Правила безопасности) при эксплуатации электроустановок: РД 153-34.0-03.150-00. -М.: Минэнерго, 2000.

2 Электромагнитные поля в производственных условиях. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.4.1191-03 / Мин-во здрав. -М.: Минздрав РФ, 2003. -38 с.

3 Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.1.2.1002-00 / Мин-во здрав. -М.: Минздрав РФ, 2001. -24 с.

4 Создание нормативно-методического документа, регламентирующего уровни внепроизводственных воздействий магнитных полей промышленной частоты (50 Гц): отчет о НИР / ГУ НИИ МТ РАМН. -М., 2003. -147 с. -№ГР 01200311814.

5 Системы нормативных документов в строительстве «Нормы (предельно допустимые уровни) магнитных полей промышленной частоты (50 Гц) в помещениях жилых и общественных зданий и на селитебных территориях»: доп. к МГСН 2.03-97: проект. -М., 2003. -13 с.

6 Мисриханов, М.Ш. Снижение уровней напряженности магнитного поля кабельной линии методом сближения осей кабелей фаз и нулевого провода / М.Ш. Мисриханов, Н.Б. Рубцова, А.Ю. Токарский // Сборник докладов девятой российской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности. -СПб., 2006. -С. 608-612.

7 Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях: стандарт орг. СО 34.35.311-2004. -М.: МЭИ, 2004. -77 с.

8 Аполлонский, С.М. Напряженности воздушной среды на электрифицированной железной дороге / С.М. Аполлонский, А.Н. Богаринова // Сборник докладов девятой российской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности. -СПб., 2006. -С. 579-583.

9 Крюков, А.В. Моделирование электромагнитных полей, создаваемых многопроводными линиями электропередачи / А.В. Крюков, В.П. Закарюкин, А.Н. Иванов // Проблемы энергетика. -2007. -№7/8. -С. 37-43.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** измерение электромагнитного поля, электрифицированная железная дорога  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Крюков Андрей Васильевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»  
Закарюкин Василий Пантелеймонович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** Буякова Наталья Владимировна, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»  
664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В ФАЗНЫХ КООРДИНАТАХ**

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

**А.В. Крюков, В.П. Закарюкин**

### **MODELLING OF SYSTEMS OF THE TRACTION ELECTRICAL SUPPLY IN PHASE COORDINATES**

«Irkutsk state transport university»

A.V Krjukov, V.P. Zakaryukin

The method of modelling of three-single-phase systems of an external traction electrical supply of railways of alternate current is offered. The method is based on use phase co-ordinates and the connected graphic models of elements. Spheres of practical application of the developed method are shown.

Предложен метод моделирования трехфазно-однофазных систем внешнего тягового электроснабжения железных дорог переменного тока. Метод основан на использовании фазных координатах и полносвязанных графовых моделей элементов. Показаны сферы практического применения разработанного метода.

Системе электроснабжения железнодорожной магистрали переменного тока отвечает структурная схема, представленная на рисунке 1.

Система тягового электроснабжения представляет собой сложный нелинейный динамический объект, для формального описания которого может быть использована следующая модель [1]

$$X(t) = \Phi_t [S(t), C(t), Y(t), S(t)], \quad (1)$$

где  $X(t)$  –  $n$ -мерный вектор параметров, характеризующих режим СТЭ;

$\Phi_t$  – нелинейный динамический оператор, в общем случае зависящий от времени;

$Y(t)$  –  $m$ -мерный вектор возмущающих воздействий;

$C(t)$  –  $l$ -мерный вектор управлений;

$S(t)$  –  $p$ -мерный вектор структурных параметров.

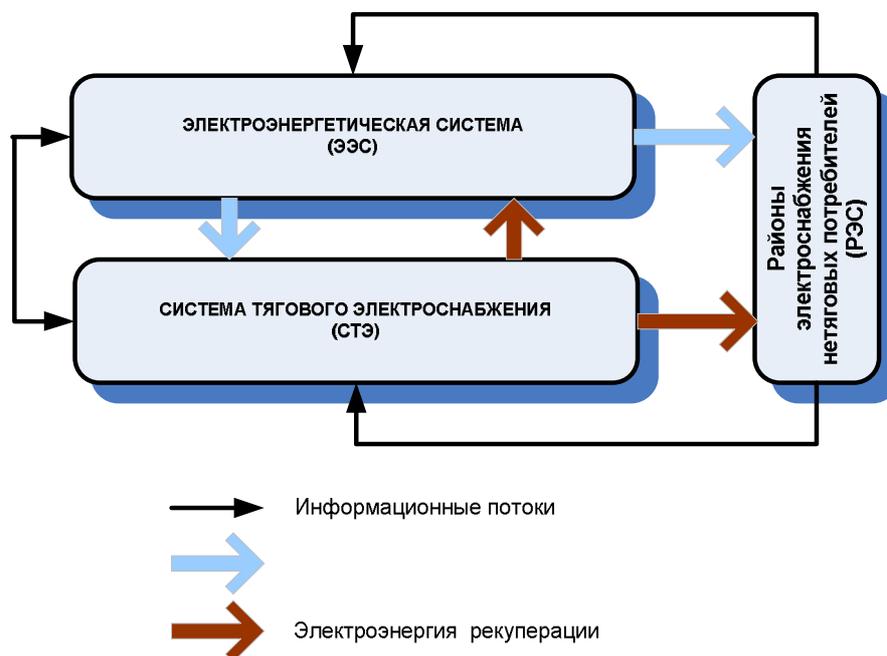


Рисунок 1 – Структурная схема системы электроснабжения железной дороги

Ввиду большой размерности, сложности и недостаточной информационной обеспеченности СТЭ практическое использование модели (1) на современном этапе не представляется возможным. Поэтому для определения режимов СТЭ применяют имитационные методы [1, 4]. При этом используется концепция так называемых мгновенных (Под мгновенными понимаются схемы СТЭ с расположением поездов в определенный момент времени) схем и осуществляется редукция динамической модели (1) к набору статических. Для выполнения процедуры моделирования исследуемый интервал  $T_M$  разбивается на малые промежутки  $\Delta t$ , внутри которых параметры  $X$ ,  $S$ ,  $C$  и  $Y$  принимаются неизменными.

На каждом интервале  $\Delta t$  осуществляется решение следующей нелинейной системы уравнений, описывающей установившийся режим соответствующей мгновенной схемы

$$F[X_k, S_k, C_k, Y_k] = 0, \quad (2)$$

где  $X_k, S_k, C_k, Y_k$  – значения векторов  $X, S, C$  и  $Y$  для  $k$ -ой мгновенной схемы.

Наиболее эффективно задача расчета режимов СТЭ может быть решена на основе применения фазных координат. Основную трудность при этом создают элементы со взаимноиндуктивными связями, к которым относятся многопроводные линии и трансформаторы. В работах [1, 2, 5] предложен единый методологический подход к построению моделей таких элементов, отличающийся математической строгостью получаемых моделей, реализуемых решетчатыми схемами замещения в виде наборов RLC-элементов, соединенных по схеме полного графа.

Линии электропередачи и трансформаторы разных типов представляют собой статические многопроводные элементы (СМЭ) из нескольких проводов или обмоток, обладающих взаимной электромагнитной связью. Если вынести соединения этих проводов (обмоток) за пределы рассматриваемого СМЭ, то линии и трансформаторы будут отличаться друг от друга только характером взаимноиндуктивной связи между проводами или обмотками.

На первом этапе моделирования матрица проводимостей, используемая для получения решетчатой схемы СМЭ, формируется без учета фактического соединения отдельных проводов или обмоток на основе следующего матричного преобразования [1, 2]

$$\underline{Y}_{RS} = M_0 \underline{Z}^{-1} M_0^T = \begin{bmatrix} \underline{D} & -\underline{D} \\ -\underline{D} & \underline{D} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где  $\underline{Y}_{RS}$  – матрица размерностью  $2r \times 2r$ ;

$\underline{Z}$  – исходная матрица сопротивлений элемента размерностью  $r \times r$ , учитывающая взаимные индуктивные связи между проводами;

$$\underline{Z}_{ik} = \underline{Z}_{ki}; \underline{D} = \underline{Z}^{-1};$$

$r$  – исходное число проводов элемента без учета их соединения;

$M_0$  – топологическая матрица, определяемая на основе соотношения

$$M_0 = \begin{bmatrix} E_r \\ -E_r \end{bmatrix};$$

$E_r$  – единичная матрица размерностью  $r \times r$ .

Недиагональные элементы  $\underline{Y}_{RS}$  отвечают взятым с обратным знаком проводимостям отдельных ветвей решетчатой схемы, соединяющих между собой узлы, номера которых соответствуют номерам строк и столбцов матрицы;  $\underline{y}_{kj} = \underline{y}_{jk}$ . Матрица  $\underline{Y}_{RS}$  является  $r$ -кратно вырожденной, что, однако, не препятствует использованию модели (1) в расчетах. После формирования расчетной схемы сети путем объединения моделей нескольких элементов и исключения уравнений, отвечающих базисным узлам, матрица проводимостей сети становится хорошо обусловленной.

При учете емкостных проводимостей необходимо дополнить полученную схему шунтами и ветвями, определяемыми величинами частичных емкостей. Последние можно найти из потенциальных коэффициентов первой группы формул Максвелла:

$$U = AT,$$

где  $U$  –  $r$ -мерный вектор напряжений провод-земля;

$T$  – вектор зарядов проводов;

$A$  – матрица потенциальных коэффициентов.

На основе матрицы  $A^{-1}$  могут быть вычислены собственные и взаимные частичные емкости. В узлы решетчатой схемы добавляются шунты, сопротивления которых определяются половиной соответствующей собственной емкости. Кроме того, с каждой стороны системы проводов формируются дополнительные ветви с сопротивлениями, рассчитываемыми по половинным значениям соответствующих взаимных емкостей. В результате матрица  $\underline{Y}_{RS}$  преобразуется к новому виду, который можно обозначить как  $\underline{Y}_c$ .

На основе схемы соединений проводов конкретного элемента выполняется преобразование матрицы  $\underline{Y}_c$  путем объединения соответствующих узлов и сложения образующихся при этом параллельных ветвей. Предположив, что объединяемые  $k$  узлов имеют последние номера, можно разделить матрицу  $\underline{Y}_c$  на блоки [1]

$$\underline{Y}_c = \begin{bmatrix} \underline{Y}_1 & \underline{Y}_{12} \\ \underline{Y}_{12}^T & \underline{Y}_2 \end{bmatrix}.$$

где  $\underline{Y}_s$  – блок размерностью  $k \times k$ , отвечающий объединяемым узлам.

Тогда преобразованную матрицу можно представить в виде

$$\underline{Y}_s = \begin{bmatrix} \underline{Y}_1 & \underline{Y}_{12} \mathbf{e}_k \\ \mathbf{e}_k^T \underline{Y}_{12}^T & \mathbf{e}_k^T \underline{Y}_2 \mathbf{e}_k \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где  $\mathbf{e}_k$  –  $k$ -мерный вектор, состоящий из единиц.

На основе полученных моделей элементов в виде матриц  $\underline{Y}_c$  формируется расчетная модель СТЭ с учетом ее взаимосвязей с ЭЭС и РЭС в виде системы нелинейных уравнений (2). При этом могут использоваться современные методы визуального моделирования. Разработанная методология может быть распространена на моделирование несинусоидальных режимов в СТЭ [3]. При этом на каждом шаге имитационного моделирования решаются следующие системы нелинейных и линейных уравнений:

$$F[X_k(f), S_k, C_k, Y_k] = 0;$$

$$\underline{Y}_k^{(RM)}(f_3) \bar{U}(f_3)_k = \bar{I}_k(f_3);$$

...

$$\underline{Y}_k^{(RM)}(f_{41}) \bar{U}(f_{41})_k = \bar{I}_k(f_{41}),$$

где  $f_i$  – частоты высших гармоник (ВГ),

$$i = 3, 5, \dots, 41; f_i = if; f = 50 \text{ Гц};$$

$\bar{U}(f_i)$  – искомые напряжения в узловых точках сети, получаемые в результате расчета режима на частоте  $f_i$ ;

$\bar{I}_k(f_i)$  – вектор токов источников ВГ.

На основе разработанной методологии возможно решение целого комплекса научно-технических проблем [1-10], представленного в виде структурной схемы на рисунок 2.

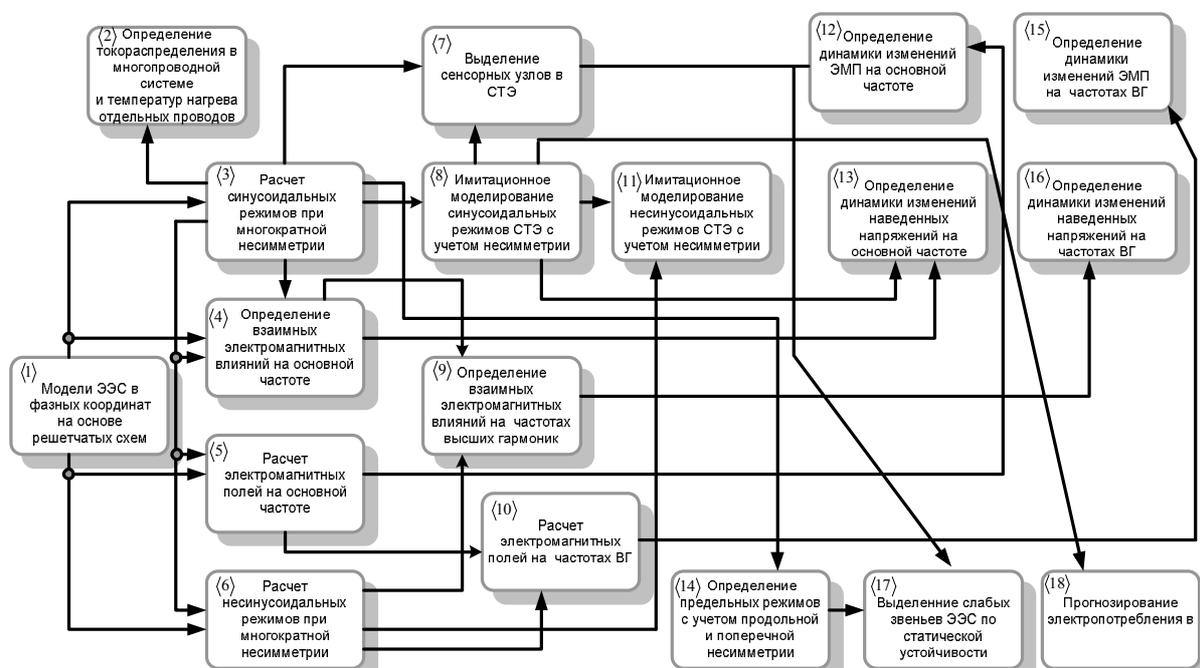


Рисунок 2 – Комплекс решаемых научно-технических проблем

Разработанные методы и алгоритмы реализованы в виде четырех промышленных программ, внедренных в эксплуатацию в ряде филиалов ОАО РЖД, а также в других организациях.

На основе этих программных комплексов могут эффективно решаться следующие актуальные задачи, возникающие при проектировании и эксплуатации систем тягового электроснабжения:

- выбор оптимального способа усиления СТЭ с учетом весовых норм поездов, размеров движения и профиля пути;
- определение пропускной способности участка дороги по системе электроснабжения с выбором оптимальной схемы пропуска поездов;
- минимизация потерь электроэнергии в элементах СТЭ;
- определение влияния поездной ситуации на показатели качества электрической энергии в районах электроснабжения нетяговых потребителей;
- расчеты уравнивающих токов и определение их влияния на технико-экономические показатели СТЭ;
- оценка режима напряжения на токоприемнике электровоза при движении поезда с учетом несимметричной загрузки внешней сети;
- оценка загрузки отдельных элементов СТЭ с возможностью прогнозирования их состояния [9];
- оценка максимальных рабочих токов фидеров для выбора уставок защит с корректным учетом питающей ЭЭС;
- определение эффективности работы устройств продольной и поперечной компенсации реактивной мощности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Закарюкин, В.П. Моделирование и управление в системах тягового электроснабжения [Электронный ресурс] / В.П. Закарюкин, А. В. Крюков, С. М. Асташин // Исследовано в Рос-

сии: электрон. журн. -2008. -С. 68-77. -Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2008/006.pdf>

2 Закарюкин, В.П. Сложнонесимметричные режимы электрических систем / В.П. Закарюкин, А.В. Крюков. -Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та., 2005. -273 с.

3 Закарюкин, В.П. Моделирование несинусоидальных режимов в системах электро-снабжения железных дорог / В.П. Закарюкин, А.В. Крюков // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Транспорт-2007». -Ростов н/Д, 2007. -Ч.2. -С. 226-229.

4 Закарюкин, В.П. Моделирование предельных режимов электроэнергетических систем с учетом продольной и поперечной несимметрии / В.П. Закарюкин, А.В. Крюков, Е.А. Крюков. -Иркутск: ИСЭМ СО РАН: ИрГУПС, 2006. -140 с.

5 Бардушко, В.Д. Режимы работы системы тягового электроснабжения напряжением 94 кВ с симметрирующими трансформаторами / В.Д. Бардушко, В.П. Закарюкин, А.В. Крюков // Вестн. ВНИИЖТ. -2005. -№3. -С. 44-47.

6 Закарюкин, В.П. Имитационное моделирование системы тягового электроснабжения 94 кВ с симметрирующими трансформаторами / В.П. Закарюкин, А.В. Крюков // Вестн. ВНИИЖТ. -2005. -№5. -С. 38-45.

7 Крюков, А.В. Моделирование электромагнитных полей, создаваемых многопроводными линиями электропередачи / А.В. Крюков, В.П. Закарюкин, А.Н. Иванов // Проблемы энергетики. -№7/8. -2007. -С. 37-43.

8 Закарюкин, В.П. Построение упрощенных моделей электроэнергетических систем для целей оперативного управления / В.П. Закарюкин, А.В. Крюков, Н.А. Абрамов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. -2007. -№4 (16). -С. 66-72.

9 Тепловизионное диагностирование / А.Р. Мещеряков, Н.И. Молин, А.В. Крюков, В.П. Закарюкин, А.Д. Степанов // Железнодорож. трансп. -2007. -№11. -С. 39-41.

10 Закарюкин, В.П. Учет возмущений во внешней сети при имитационном моделировании систем тягового электроснабжения / В.П. Закарюкин, А.В. Крюков, С.М. Асташин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. -2008. -№1. -С. 72-75.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** измерение электромагнитного поля, электрифицированная железная дорога  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Крюков Андрей Васильевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»  
Закарюкин Василий Пантелеймонович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского,15, ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

## **ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИЙ И ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

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

**А.И. Мозиллов**

**THE PRINCIPLES OF CRITERIA PARAMETERS FOR MONITORING, CONDITIONS AND DIAGNOSTIC ELECTRIC EQUIPMENT FOR THE STATIONS AND AIR-LINES OF ELECTRICITY TRANSMISSIONS**

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

A.I. Mozilov

Criterial parameter- it is a parameter between the meaning and probability of refusal in the definite interval of time, we have stochastic link.

Критериальный (прогнозирующий) параметр – параметр между значениями которого и вероятностью наступления отказа в определенном интервале времени существует стохастическая связь.

Информационно-аналитической система (ИАС) должна содержать Библиотеку значений критериальных параметров, регламентирующих предельные значения и допустимые диапазоны изменения контролируемых параметров, скоростей их изменения. Информация библиотеки обновляется с частотой обновления РД или других нормативных документов.

Техническое состояние оборудования принято характеризовать как исправное или неисправное, работоспособное или неработоспособное.

Исправным считается состояние, при котором оборудование полностью отвечает всем техническим требованиям.

Работоспособным является состояние, когда техническим требованиям соответствуют

лишь те свойства аппарата, которые характеризуют его способность выполнять заданные функции.

Неисправное и неработоспособное, но ремонтпригодное, это состояние, когда оборудование не может выполнять заданные функции, но его работоспособность может быть восстановлена путём проведения ремонта, который технически возможен и экономически целесообразен.

Неремонтпригодным считается состояние оборудования, при котором проведение его ремонта технически невозможно или экономически нецелесообразно.

Переход исправного оборудования в работоспособное состояние связан с появлением в нем дефектов, а переход из работоспособного состояния в неработоспособное называется отказом. Под дефектом понимается такая неисправность, при развитии которой со временем произойдет отказ оборудования.

Основной задачей диагностирования является поиск и обнаружение признаков дефектов, которые проявляются в изменении измеряемых параметров.

Критериальный (прогнозирующий) параметр – это параметр между значением которого и вероятностью наступления отказа в определенном интервале времени существует стохастическая связь.

Для основных видов оборудования подстанций в результате многолетней систематизации отказов определен перечень наиболее вероятных дефектов. Известно также, что появление каждого дефекта характеризуется совокупностью определенных признаков, выявляемых различными методами (группами) испытаний. Для некоторых наиболее характерных видов дефектов могут быть даны вероятностные оценки «сценария» их развития во времени до отказа аппарата.

В настоящее время оценка состояния оборудования подстанций и линий электропередачи производится по нормам РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования», Методических указаний ОАО «ФСК ЕЭС», технических условий предприятий и ГОСТ.

В перечисленных выше документах регламентируется набор информативных (критериальных) параметров, наиболее достоверно характеризующих состояние оборудования в момент проведения контроля. Оценка состояния испытываемого аппарата производится методом сравнения значений измеряемых величин с нормированными (предельно допустимыми) значениями.

Для автоматизации процесса оценки состояния оборудования требуется внедрение формализованных критериев, представляющих физико-математические описания исправного, дефектного, но способного работать, аварийного и других состояний всех видов оборудования.

Эффективная автоматизированная система диагностирования должна обеспечивать обнаружение признаков дефектов, идентификацию вида дефекта и прогнозирование времени развития дефекта данного типа до момента отказа аппарата.

Для наиболее сложных видов оборудования (трансформаторов, реакторов, управляемых источников реактивной мощности, выключателей) такие формализованные описания («образы дефектов») в настоящее время отсутствуют. Разработка алгоритмов определения наличия признаков дефектов, и видов дефектов на основе анализа результатов мониторинга параметров, характерных особенностей конкретных типов конструкций, а также алгоритмов расчетной оценки скорости развития выявленных дефектов, является актуальной задачей.

В этих условиях, на первом этапе реализации программы совершенствования системы диагностики, в качестве критериев состояния оборудования подстанций и линий электропередач должны быть использованы существующие нормированные, либо предельно допустимые, значения отдельных измеряемых параметров, либо групп взаимосвязанных параметров.

Приведем перечень основных критериальных параметров для различных видов оборудования в виде: критерий оценки состояния (контролируемые параметры).

*Трансформаторы силовые маслонаполненные, реакторы маслонаполненные 110-750 кВ:*

- Относительный износ твердой изоляции (температуры верхних слоев масла и окружающей среды; токи обмоток);
- Температура обмотки, расчет по алгоритму ГОСТ 14209 (температуры верхних слоев

масла и окружающей среды; токи обмоток);

– Число и величина перегрузок, расчет по алгоритму ГОСТ 14209 (напряжения обмоток; токи обмоток);

– Количество растворенных в масле характерных газов (содержание газов в масле);

– Объем газовыделения (положение контактов газового реле; положение контактов реле дифференциальной защиты);

– Уровень содержания влаги/относительная влажность масла (влажность масла);

– Расчетное значение влажности твердой изоляции, расчет по влажности и температуре масла (влажность масла; температура верхних слоев масла);

– Электрические характеристики масла (удельное объемное электрическое сопротивление и тангенса угла диэлектрических потерь масла);

– Исправность системы охлаждения, на каждом трубопроводе системы охлаждения, расчет по заданному алгоритму (токи электродвигателей вентиляторов обдува и маслонасосов; температуры верхних слоев масла в силовых трансформаторах и реакторах, в баке РПН; температуры масла на выходе из системы охлаждения; расход масла; механические примеси в масле);

– Уровень масла (уровень);

– Исправность вводов: ток, емкость, давление и температура масла (ток утечки; давление масла во вводе; температура масла во вводе);

– Исправность РПН (положение контактов реле контроля длительности переключения; текущий номер отпайки; ток двигателя привода или момент на валу);

– Потери в трансформаторе, в том числе холостого хода и короткого замыкания (напряжение на обмотке; ток в обмотке);

– Деформация обмоток (напряжение на обмотке; ток в обмотке);

– Перенапряжения на обмотке ВН, расчет по ГОСТ (напряжение на обмотке).

*Элегазовые выключатели:*

– Плотность элегаза в каждом изолированном объеме (давление элегаза; температура элегаза);

– Израсходованный механический ресурс (число включений/отключений);

– Израсходованный коммутационный ресурс работы аппаратов КРУЭ, отдельно для включения и отключения (число включений/отключений; ток коммутации для каждого срабатывания аппарата);

– Температура элегаза в каждом изолированном объеме (температура элегаза);

– Давление воздуха в пневматических приводах и масла в гидравлических (давление воздуха в пневматических приводах; давление масла в гидравлических приводах);

– Предельно допустимая влажность элегаза (влажность элегаза).

*Ограничители перенапряжений:*

– Ресурс по пропускной способности (число срабатываний; ток проводимости для каждого срабатывания ОПН).

*Трансформаторы тока, маслonaполненные:*

– Температура масла (температура масла);

– Ток утечки внешней изоляции (ток утечки внешней изоляции);

– Уровень масла (уровень масла).

*Трансформаторы тока и напряжения элегазовые:*

– Плотность элегаза (температура элегаза; давление элегаза).

*Трансформаторы напряжения маслonaполненные:*

– Коэффициент трансформации (напряжение обмоток).

*Выключатели масляные:*

– Механический ресурс (число срабатываний);

– Коммутационный ресурс (число срабатываний; коммутируемый ток);

– Уровень масла (датчик уровня);

– Качество масла (влажность масла);

– Исправность системы управления (целостность электрических цепей управления);

– Величина и форма тока электромагнитов управления (токи управления);

– Исправность вводов: ток, емкость, тангенс угла диэлектрических потерь, давление и температура масла (емкость ввода; ток утечки; давление масла во вводе; температура масла во вводе).

*Выключатели воздушные:*

- Механический ресурс (число включений и отключений отдельно);
- Коммутационный ресурс, расчет (число срабатываний; коммутируемый ток);
- Качество сжатого воздуха (давление воздуха в магистралях; влажность воздуха; полное время коммутации);
- Неисправность системы управления (целостность электрических цепей управления);
- Величина и форма тока электромагнитов управления (токи управления).

*Разъединители и заземлители:*

- Механический ресурс (числа включений/отключений счетчика срабатываний отдельно);
- Исправность двигателей приводов (токи двигателей приводов).

*Синхронные компенсаторы:*

- Потери в подшипниках (активная и реактивная мощность; температура сегментов подшипников);
- Предельно допустимые несимметричные режимы (фазные токи и напряжения);
- Исправность вспомогательных узлов и механизмов (температура активной стали и обмотки статора; температура воды в газоохладителях; температура газов в газоохладителях);
- Предельно допустимые вибрации (виброскорости опор подшипников).

*Статические компенсаторы:*

- Повышенная электропроводность охлаждающей жидкости (удельная электропроводность охлаждающей воды);
- Предельно допустимое количество отказавших вентилях (число пробитых единичных приборов в вентиле; месторасположение (адрес) пробитых приборов);
- Отказ системы управления (месторасположение (адрес) отказавших блоков управления; число отказавших блоков управления преобразовательной ячейкой в вентиле; месторасположение и номер отказавшего лазера);
- Неисправность системы охлаждения (температура охлаждающей воды вентиля и резистора; расход охлаждающей воды вентиля и резистора).

Одним из существенных факторов, определяющих практическое использование того или иного критериального параметра, является возможность его измерения в процессе работы оборудования, а также наличие необходимых датчиков и средств измерений.

Ниже приведен перечень основных технических методов, обеспечивающих возможность диагностирования электротехнического оборудования подстанций и линий электропередачи электрических сетей ОАО «ФСК ЕЭС» под рабочим напряжением без нарушения нормальных режимов его работы, виде: вид оборудования (методы контроля под рабочим напряжением).

*Подстанционное оборудование:*

- Силовые трансформаторы, автотрансформаторы, шунтирующие реакторы (визуальный контроль; хроматографический анализ растворенных газов; физико-химический анализ масла: пробивное напряжение, влажность, тангенс угла диэлектрических потерь, механические примеси; измерение емкости и тангенса угла диэлектрических потерь конденсаторной изоляции вводов и трансформаторов тока; измерение давления масла во вводе; измерение потерь холостого хода; тепловизионный контроль бака, вводов, расширителя, системы охлаждения; вибрационный контроль маслонасосов и вентиляторов без отключения трансформатора; акустический контроль; контроль электромагнитного излучения);

- Трансформаторы тока (визуальный контроль; измерение емкости и тангенса угла диэлектрических потерь изоляции трансформаторов тока; тепловизионный контроль);

- Электромагнитные и емкостные трансформаторы напряжения (визуальный контроль; контроль коэффициента трансформации; измерение давления элегаза в элегазовых трансформаторах напряжения; контроль емкости и тангенса угла диэлектрических потерь изоляции масляных конденсаторов делителя напряжения; тепловизионный контроль; акустический контроль; контроль электромагнитного излучения);

- Конденсаторы связи (визуальный контроль; контроль емкости и тангенса угла диэлектрических потерь, изоляции масляных конденсаторов; измерение давления элегаза в элегазовых конденсаторах; тепловизионный контроль; акустический контроль; контроль электромагнитного излучения);

- Воздушные, маломасляные и элегазовые выключатели, масляные баковые выключатели (визуальный контроль; тепловизионный контроль; акустический контроль; контроль

электромагнитного излучения; частично периодический контроль состояния с отключением оборудования в процессе ревизий и средних ремонтов и разработка методов контроля под рабочим напряжением: осциллографирование процессов включения-отключения; расчет ресурса контактных систем; оценка кинематики приводов; контроль соленоидов; автоматизированный мониторинг и диагностика состояния выключателей 330-750 кВ и частично 110-220 кВ с возможностью передачи информации в диагностические центры различных уровней);

– Разъединители (визуальный контроль; тепловизионный контроль; акустический контроль; контроль электромагнитного излучения; частично периодический контроль состояния с отключением оборудования в процессе ревизий и средних ремонтов);

– Опорно-стержневые изоляторы (визуальный контроль; ультрафиолетовое сканирование; ультразвуковая диагностика);

– Изоляция ошиновки (тепловидение; акустический контроль; ультрафиолетовое сканирование);

*Воздушные линии электропередачи* (аэросканирование с постепенным расширением функций; тепловизионный контроль; контроль электромагнитного излучения; инструментальный контроль состояния фундаментов; инструментальный контроль состояния проводов и грозозащитных тросов; инструментальный контроль состояния опор; автоматизированная оценка гололедной обстановки, для гололедных районов)

В таблице приведены данные о наличии датчиков, необходимых для осуществления периодического, либо непрерывного, автоматизированного контроля основных критериальных параметров, а также рекомендации о целесообразности разработки и установки отсутствующих датчиков.

*Таблица – Оборудование КРУЭ и элегазовые выключатели (от 2 до 10 лет эксплуатации)*

Критерий оценки состояния	Контролируемые параметры	Наличие датчиков	Рекомендации по установке
Предельно допустимый уровень плотности элегаза	Давление элегаза	Да	Нет
	Температура корпуса аппарата	Да	Нет
Коммутационный ресурс коммутационных аппаратов КРУЭ	Число коммутаций	Да	Нет
	Полное время коммутации	Нет	Да, на каждый аппарат КРУЭ
Предельно допустимое быстрое действие выключателя	Скорость движения контактов на включение и отключение	Нет	Да
Предельно допустимое давление воздуха в пневматических приводах и масла в гидравлических	Давление воздуха в пневматических приводах	Да	Нет
	Давление масла в гидравлических приводах	Да	Нет
Предельно допустимая влажность элегаза	Влажность элегаза	Нет	Да, рекомендуется оснащать КРУЭ средствами для подключения переносного измерителя
Предельно допустимый уровень частичных разрядов	Уровень частичных разрядов (акустический и электрический каналы)	Нет	Да, рекомендуется производить периодические измерения
Предельно допустимый уровень износа графитовых или фторопластовых сопл	Содержание продуктов износа в элегазе	Нет	Да, рекомендуется производить периодические измерения
Ресурс по пропускной способности	Число срабатываний	Нет	Да
	Ток проводимости для каждого срабатывания ОПН	Нет	Да

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** мониторинг состояния электротехнического оборудования  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Мозилов Александр Иванович, канд. техн. наук, соискатель ФГОУ ВПО «НГавт»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

## БУДУЩЕ ЭНЕРГЕТИКИ – ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ САМОНЕСУЩИХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»  
ООО «Зевс-Электро»

В.З. Манусов, Д.С. Соболев

### THE POWER FUTURE – POSSIBILITIES OF SYSTEM OF SELF-BEARING INSULATED WIRES

«Novosibirsk State Technical University»  
Society of Limited liability of «Zevs-Elektro»  
V.Z. Manusov, D.S. Sobolev

Necessity of modernization for Russia for electric networks, became for a long time already obvious. Use СИП-3 (the Self-bearing Insulated wire) in 6-35 kV (air-lines) will lead to considerable cutting-down of working costs. Rather small cost of a line (approximately on 35% is more expensive «naked»). Thus there is a considerable cutting-down of working costs (real cutting-down reaches 80%). Economic feasibility, electric and ecological safety 6-35 kV for associates and attendants is indisputable.

Необходимость технического перевооружения в России в электрических сетях, уже давно стала очевидной. Использование СИП-3 (Самонесущий Изолированный Провод) в ВЛ 6-35 кВ (воздушные линии) приведёт к значительному сокращению эксплуатационных расходов. Сравнительно небольшая стоимость линии (примерно на 35% дороже «голых»). При этом происходит значительное сокращение эксплуатационных расходов (реальное сокращение доходит до 80%). Экономическая целесообразность, электрическая и экологическая безопасность ВЛ 6-35 кВ для окружающих и обслуживающего персонала бесспорна.

По статистике самый высокий уровень потребления электроэнергии на душу населения в Европе – в скандинавских странах. Такое потребление электроэнергии ставит более сложные задачи по обеспечению бесперебойного электроснабжения потребителя.

Двадцать лет назад в Скандинавии перед учеными была поставлена задача – разработать новый тип воздушных линий электропередач. В результате работы появилась система с использованием проводов с защитным покровом. В Норвегии и Швеции такой провод на напряжение 6-20 кВ стал известен под маркой BLX, в Финляндии он стандартизован как PAS или как торговая марка Pirelli (ранее Nokia) SAX, а теперь SAX-W.

После внедрения новых технологий заметно понизилась аварийность линий. Так, например, в Финляндии среднее время отключения воздушных линий напряжения 6-35 кВ по всей территории, включая даже отдаленные северные районы, составляет всего 135 минут за весь год. Такие линии с защищенными проводами в процессе эксплуатации становятся практически необслуживаемыми и, как следствие, повысилась безопасность распределительных сетей.

На российском рынке этот провод появился в конце 80-х годов прошлого века. С 1997 г. «Севкабель» и «Иркутсккабель», а чуть позже «Москабельмет» начали выпускать похожий по характеристикам провод, позиционируя как СИП-3 (Самонесущий Изолированный Провод). Он отличается от скандинавских более широким диапазоном сечений, гидрофобным слоем между жилой и изоляцией. Область применения российских проводов расширена по классу напряжения до 35 кВ за счет увеличения толщины защитного покрова.

СИП-3 – это одножильный самонесущий изолированный провод. Жила выполнена из алюминиевого сплава высокой прочности или из сталеалюминия.

Изоляция выполнена из силанольно-сшитого полиэтилена. Температурные характеристики такой изоляции – 90 °С в долговременном режиме, 130 °С в режиме длительной перегрузки (до 8 ч в сутки) и 250 °С в режиме токов короткого замыкания. В изоляцию добавляют около 2% сажи для достижения стойкости полиэтилена к ультрафиолетовому излучению (таблица).

Изоляционный слой имеет толщину около 2,3 мм, поэтому такой слой можно считать только защитным (рисунок 1). Несмотря на то, что изоляция и выдерживает 60 кВ на пробой, провод необходимо подвешивать пофазно на от-

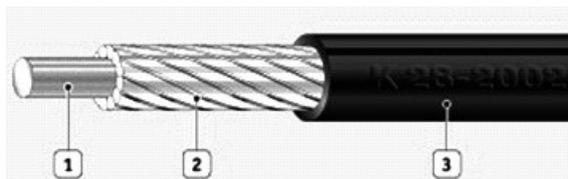


Рисунок 1 – СИП-3: 1-стальной сердечник; 2-повив из алюминиевых проволок; 3-изоляция жилы

дельные изоляторы. При схлестывании проводов или падении на линию, например, дерева, когда провода собираются в пучок, защитный покров выдерживает рабочее напряжение и линия может работать достаточно долго.

Надежность и эксплуатационная привлекательность СИП-3 складывается из следующих условий:

- провода защищены от схлестывания;
- на таких проводах практически не образуется гололед;
- исключено воровство проводов, так как они не подлежат вторичной переработки;
- существенно уменьшены габариты линии и, соответственно, требования к просеке для прокладки и в процессе эксплуатации;
- простота монтажных работ и, соответственно, уменьшения их сроков;
- высокая механическая прочность проводов и, соответственно, невозможность их обрыва;

- пожаробезопасность таких линий, основанная на исключении КЗ при схлестывании;
- сравнительно небольшая стоимость линии (примерно на 35% дороже «голых»). При этом происходит значительное сокращение эксплуатационных расходов (реальное сокращение доходит до 80%).

Необходимость технического перевооружения в России в электрических сетях, уже давно стала очевидной не только для специалистов-энергетиков, но и для рядовых потребителей электроэнергии. В настоящее время, наконец-то, такое перевооружение может принять широкомасштабный характер и быть реализовано. Учитывая современное состояние, и на основании концепции развития распределительных электрических сетей предусматривается переход к проектированию и строительству воздушных линий (ВЛ) различного класса напряжений с применением экологически безопасных элементов линий, не требующих плановой замены проводов в течении всего срока эксплуатации.

При обосновании этих технических решений системотехнический анализ позволил определить ВЛ как систему, состоящую из четырех основных элементов: опор, проводов линейной арматуры и устройств линейной защиты и автоматики. Целью данного обоснования явился синтез структуры возможных вариантов формирования распределительных сетей и разработка методики использования самонесущих изолированных проводов защищенных проводов СИП-3 для ВЛ 6-35 кВ.

Строительство линий с СИП в течение последних 10 лет выявило ряд серьезных проблем, связанных с проектированием, монтажом и эксплуатацией. Главная из этих проблем была связана с отсутствием в России нормативной базы по СИП, без которой невозможно достичь требуемых технических характеристик линии с СИП. Эксплуатационно-технические характеристики таких линий оказались ниже ожидаемых.

В 2005 г. в соответствии с новыми требованиями, предъявляемыми к развитию линий электропередачи, был разработан национальный стандарт России – ГОСТ Р 52373-2005 на самонесущие изолированные провода для воздушных линий электропередачи на номинальное напряжение 20 кВ и 35 кВ.

Провод по конструктивному исполнению, техническим характеристикам и эксплуатационным свойствам соответствует финскому стандарту SFS 5791 (1994 г.). Стандарт вступил в силу с 01.07.2006 г.

С 1986 г. строительство распределительных сетей стало вестись со стойками, имеющими несущую способность 3,5 тм (СВ110-3.5, СВ6105-3.5), 5 тм (СВ105), 7 тм (СНВ-7-13) и 9,3 тм (СВ164-2) для ВЛ 10 кВ. Их применение повысило надежность ВЛ. Однако, при этом значительно увеличился расход металла и железобетона. Одновременно начали выявляться отрицательные стороны строительства распределительных сетей на железобетонных опорах. К ним прежде всего следует отнести низкую грозоупорность и необходимость вы-

*Таблица – Технические характеристики СИП-3 (толщина изоляции 2,3 мм)*

Обозначение	Номинальный диаметр стального сердечника, мм	Число алюминиевых проволок	Номинальный диаметр алюминиевых проволок, мм	Наружный диаметр провода, мм	Электрическое сопротивление при 20 °С, Ом/км, не более	Масса провода, кг/км
СИП-3 50	3,20	6	3,06	12,7	0,720	263
СИП-3 70	3,80	6	3,72	14,3	0,493	348
СИП-3 95	4,50	6	4,40	15,9	0,363	457
СИП-3 120	4,50	18	2,80	17,4	0,288	529
СИП-3 150	4,50	18	3,50	19,0	0,236	627

полнять заземления опор ВЛ 6-20 кВ; ограниченную гибкость конструкции; деформирование конструкций при транспортировке по трассе и увеличение веса конструкций. Было установлено, что наибольшее количество разрушений железобетона в условиях кислых почв происходит в результате воздействия гололедно-ветровых нагрузок на провода ВЛ. Прокладка и монтаж провода должны производиться при температуре окружающей среды не ниже минус 20 °С. Усилия при натяжении провода не должны превышать 35 Н/мм<sup>2</sup> сечения токопроводящей жилы.

В целях повышения эксплуатационной надежности и долговечности ВЛ 6-20 кВ акционерное общество «РОСЭП» разработало проекты новых железобетонных стоек марки С112 (С112-1, С112-2 и С112-3) и проекты опор ВЛ 10 кВ с этими стойками. Применение стоек марки С112 в соответствии с указанными рекомендациями позволяет обеспечить нормальную работу ВЛ 6-20 кВ при воздействии гололедно-ветровых нагрузок с повторяемостью не чаще одного раза в 50 лет, что для принятого расчетного срока службы линий (45 лет) соответствует риску ее разрушения менее 60%. Этот уровень риска близок к принимаемому значению для ВЛ за рубежом.

Годовые затраты на эксплуатационное обслуживание одного километра ВЛ с неизолированными проводами приняты по данным Пригородных электрических сетей АО «Ленэнерго» за 1998 год и составляют для ВЛ 10 кВ – 1800 руб. В этом случае затраты на эксплуатацию ВЛ с изолированными проводами снижаются на 85% по отношению к затратам на эксплуатацию ВЛ с неизолированными проводами. Средняя стоимость строительства 1 км ВЛ с неизолированными проводами по данным треста «Запсельэлектросетьстрой» за III квартал 1999 г. составляет – для ВЛ 10 кВ – 132 тыс. руб., в том числе стоимость провода 67,6 тыс. руб.

Стоимость строительства 1 км ВЛ с изолированными проводами ОАО «Севкабель» с учетом их стоимости на октябрь 1999 г. составляет: СИП-3 для ВЛЗ 10 кВ – 160,2 тыс. руб., в том числе стоимость провода 95,8 тыс. руб.

Капитальные вложения и издержки производства приняты для срока службы линий равному 33 годам.

Расчет произведен методом приведенных затрат. Сравнительная эффективность дополнительных капитальных затрат (коэффициент эффективности  $E$ ) была рассчитана по формуле и для линии ВЛ 10 кВ составляет

$$E = (I1 - I2) / (K2 - K1) > E_n,$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент сравнительной эффективности ( $E_n = 0,12$ );

$I1$  – затраты на эксплуатационное обслуживание неизолированного провода,  $I1 = 59,4$  тыс. руб.;

$I2$  – затраты на эксплуатационное обслуживание изолированного провода,  $I2 = 8,91$  тыс. руб.;

$K1$  – капитальные вложения на неизолированный провод,  $K1 = 132$  тыс. руб.;

$K2$  – капитальные вложения на изолированный провод,  $K2 = 160,2$  тыс. руб.;

$$E = (59,40 - 8,91) / (160,2 - 132,0) = 1,79 > 0,12.$$

Из расчётов следует, что расчетный срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составит для ВЛЗ 10 кВ – 1,79 года.

Учитывая вышеизложенное можно сделать вывод, что на территории Российской Федерации строительство воздушных линий напряжением 6-35 кВ следует выполнять только с использованием изолированных и защищенных проводов СИП. Строительство ВЛН следует рекомендовать только в виде исключения. Кроме того, применение самонесущего провода поможет существенно снизить несанкционированное потребление электроэнергии - самовольное подключение к нему невозможно. Организация производства СИП и линейной арматуры на заводах и предприятиях России на уровне лучших зарубежных образцов, позволяет осуществлять строительство ВЛЗ равноценным по затратам с линиями ВЛН.

Экономическая целесообразность, электрическая и экологическая безопасность ВЛЗ для окружающих и обслуживающего персонала требуют изменения положений ПУЭ-85, и в первую очередь в части ограничения нового строительства ВЛН.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** самонесущий изолированный провод

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «НГТУ»  
Соболев Дмитрий Сергеевич, главный инженер ООО «Зевс-Электро»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»  
630039, г. Новосибирск, ул. Воинская, 63, офис 922, ООО «Зевс-Электро»

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРЕИМУЩЕСТВ САМОНЕСУЩИХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ С НЕИЗОЛИРОВАННЫМИ ВОЗДУШНЫМИ ЛИНИЯМИ**

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»  
ООО «Зевс-Электро»

**В.З. Манусов, М.Н. Попович**

**THE COMPARATIVE ANALYSIS OF ADVANTAGES OF THE SELF-BEARING ISOLATED WIRES OVER NAKED AIR-LINES**  
«Novosibirsk State Technical University»  
Society of Limited liability of «Zevs-Elektro»  
V.Z. Manusov, M.N. Popovich

Today more than 125 thousand in km 0,4 kV is in an accident condition. In 1980 years it was annually replaced about 50 thousand in km, last decade it is laid no more than 5 thousand in km of new networks annually. Meanwhile life cycle of air-lines, on the average equals to 30-35 years, that is in the near future the quantity of failures on them will increase in an increasing progression. It is obvious that today's re-equipment air-lines is necessary for conducting with application of the new technologies one of which is application of the isolated air-lines where problems of breakdown susceptibility, expenses for installation and repairs are solved.

Сегодня более 125 тыс. км ВЛ 0,4 кВ находится в аварийном состоянии. В 1980 годы ежегодно заменялось около 50 тыс. км, в последнее десятилетие прокладывается не более 5 тыс. км новых сетей ежегодно. Между тем срок службы воздушных линий, в среднем равняется 30-35 годам, то есть в ближайшее время количество аварий на них будет возрастать в возрастающей прогрессии. Очевидно, что сегодняшнее переоснащение ВЛ необходимо вести с применением новых технологий, одной из которых является применение изолированных воздушных линий (ВЛИ) с СИП, где решены проблемы аварийности, затрат на монтаж и ремонты.

Наряду с высоким применением новых технологий хотелось бы обратить особое внимание читателей на довольно привлекательную технологию – самонесущий изолированный провод (СИП). Да, многие скажут, что СИП не является инновационной технологией в электроэнергетике, но этот факт не верен.

В Европе и на Западе широко известна технология применения СИП, но, к сожалению, в России, эта методика применяется не всегда.

В России СИП используют далеко не все из-за сравнительно высокой стоимости провода и арматуры. Но ведь специалисты европейских стран рассматривают каждую новую технологию и с экономической точки зрения. Если рассмотреть статистику перебоев в электроснабжении за 1 год, то, к примеру, в Норвегии эта цифра составляет – 2 часа, в Финляндии 1-2 часа, что четко указывает на экономию средств. В России, – г. Владивосток, каждый год на населении отражается перебой в электроснабжении от 3 до 5 суток и число отказов постоянно растет! В последнее время, местные и федеральные власти все чаще выделяют огромные средства на реконструкцию системы электроснабжения, но, не смотря на это, применяются прежние технологии. При этом теряется огромная доля полезной энергии, которая могла бы быть использована по назначению.

Электрические сети (0,4 кВ) России изношены на 75%, количество потребляемой электроэнергии выше заявленной и оплаченной. Частота аварий на линии велика, эксплуатационные затраты огромны и очевидны. Отчисления на амортизацию линии, электрохозяйств составляет 20%, при этом учтены не все статьи расходов. Экономические преступления в нашей стране не мало, известный факт. За прошлый год в Новосибирской области «охотниками за цветным металлом» было разграблено около 150 км проводов и около 100 т цветного металла. Протяженность воздушной линии (ВЛ 0,4 кВ) в среднем достигает от 600 м до 1200 м неизолированными проводами, что незначительно для развития системы электроснабжения, а если линия будет собрана СИПом то длина воздушной линии может достигать до 2000 м. Сплав алюминия, применяемый в СИП не обладает тем качеством, который пользуется спросом у скупщиков цветного металла.

Если взглянуть на промышленные разработки газа и нефти, которые «задыхаются» от чрезмерных затрат на электроснабжение собственных нужд, а также эксплуатацию кабельных и воздушных линий, то становится очевиден экономический расчет цен на сырье. Процессы, которые давно должны быть автоматизированные, а также должны обеспечиваться надежностью и бесперебойностью системы за счет высоких технологий, в нашей стране обеспечиваются только старыми схемами и бесперебойной работой физического труда.

На сегодняшний день существуют различные варианты решения избавления от колоссальных затрат – приход к решению старых проблем новыми методами. Одной из таких проблем, на мой взгляд, является оледенение неизолированных проводов линий обеспечивающих электроэнергией районы крайнего севера, а также районы с повышенной влажностью, такие как г. Хабаровск, г. Владивосток. Именно СИП должен стать «панацеей» от этой болезни.

Коснемся других проблем. На территории России существуют районы, часто подвергающиеся наводнениям и сильным ветрам в результате которых, мы, рядовые потребители, становимся жертвами стихийного бедствия, коих известно далеко не одно. Без электроснабжения остаются сотни домов и тысячи людей. В результате ветров на линии происходит «схлестывание» короткое межфазное замыкание, вызванное попаданием одного из фазных проводов на другой, в результате чего срабатывает защита и отключается вся линия. А если рассмотреть модель с СИП, то возможно исключение данной проблемы вообще.

*Комментарий к техническим требованиям к изолированным воздушным линиям (ВЛИ) сетевых компаний.* На технических совещаниях в ОАО МОЭСК, МРСК Центра и Северного Кавказа, МРСК Урала и Волги и ряде других компаний по вопросу разработки технических требований к ВЛИ были приняты следующие решения.

1 При новом строительстве и реконструкции ВЛ 0,4 кВ применять самонесущие провода СИП-2 с изолированной несущей нулевой жилой из алюминиевого сплава, изготовленные в соответствии с национальным стандартом ГОСТ Р 52373-2005.

2 При новом строительстве и реконструкции ВЛ 6-10 кВ применять защищенные провода (СИП-3) при прохождении трассы ВЛ в лесных массивах с ценными и редкими породами деревьев, а также при отсутствии возможности соблюдения габаритных расстояний для ВЛ с неизолированными проводами.

3 Линейная арматура должна быть сертифицирована в России. На арматуру должно быть заключение отраслевой испытательной лаборатории, подтверждающее возможность её применения для СИП российского производства, выполненного по стандарту ГОСТ Р 52373-2005.

По арматуре для СИП ряд компаний принял следующие основные требования:

1 Линейная арматура должна быть сертифицирована в России и соответствовать Европейскому стандарту CENELEC CS.

2 Срок службы линейной арматуры должен быть не менее 40 лет, а минимальный опыт эксплуатации в России – не менее 5 лет.

3 На линейную арматуру должно иметься заключение от отраслевой испытательной лаборатории о возможности ее использования с российскими СИП, выполненными по стандарту ГОСТ Р 52373-2005, а также о возможности ее эксплуатации в любых климатических районах при температуре окружающего воздуха от -45 °С до +50 °С.

4 Линейная арматура должна быть совместима с инструментом для монтажа и ремонта СИП.

5 Анкерные зажимы для магистральных проводов должны быть изготовлены из алюминиевого сплава, устойчивого к коррозии, с минимальной разрушающей нагрузкой 1500 кг для сечения нулевой жилы 50-70 мм<sup>2</sup> и 2200 кг для 95 мм<sup>2</sup>.

6 Ответвительные зажимы должны иметь срывные затягивающие гайки во избежание повреждения жилы СИП в процессе монтажа. Срок службы прокалывающих зажимов должен соответствовать сроку службы магистральных проводов. Срывная головка затягивающего болта ответвительного зажима должна быть выполнена из алюминиевого сплава. Монтаж ответвительных зажимов должен осуществляться российским инструментом и приспособлениями.

Учитывая современное состояние, и на основании концепции развития распределительных электрических сетей предусматривается переход к проектированию и строительству ВЛ различного класса напряжений с применением экологически безопасных элементов линий, не требующих плановой замены проводов в течении всего срока эксплуатации. С учетом этих требований ОАО «Институт Западсельэнергопроект» впервые на Северо-Западе России разработал и внедрил в практику проектирования, строительства применение изолированных и защищенных проводов на ВЛ 0,4-20 кВ.

*Достоинства СИП:*

– Высокая надежность в обеспечении электрической энергией;

– Высокая безопасность обслуживания – отсутствие риска поражения при касании фаз-

ных проводов, находящихся под напряжением;

- Повышенная надежность в зонах интенсивного гололедообразования, уменьшение гололедно-ветровых нагрузок на опоры;

- Бесперебойное электроснабжение в случае срыва СИП с опор;

- Снижение энергопотерь в линии из-за уменьшения более чем в три раза реактивного сопротивления изолированных проводов по сравнению с неизолированными;

- Возможность установки дополнительных СИП параллельно существующим для удвоения мощности сети (что недопустимо при использовании неизолированных проводов);

- Возможность совместной прокладки на одних и тех же опорах одновременно СИП и высоковольтных воздушных линий 6-20 кВ с неизолированными или защищенными проводами;

- Возможность одновременного монтажа на одних и тех же опорах телефонных линий (на 0,5 м ниже чем провод СИП);

- Простота монтажных работ, возможность подключения новых абонентов под напряжением, без отключения остальных от энергоснабжения и как следствие сокращение сроков ремонта и монтажа;

- Снижение риска возникновения пожаров в лесистой или покрытой кустарником местности при падении провода на землю;

- Уменьшение безопасных расстояний до зданий и инженерных сооружений (электрических, телефонных, воздушных линий), что обеспечивает большую гибкость при прокладке;

- Отсутствие или незначительное обрастание гололедом и мокрым снегом изолированной поверхности проводов. Это объясняется тем, что ПЭ является не полярным диэлектриком и он не образует ни электрических, ни химических связей с контактирующими с ним веществом. Именно по этой причине мокрый снег легко стекает с круглой поверхности изолированных ПЭ проводов. В проводах марки А и АС мокрый снег может удерживаться в канавках между проволоками, являясь первопричиной обрастания;

- Резкое снижение (до 80%) эксплуатационных затрат, вызванное высокой надёжностью и бесперебойностью энергообеспечения потребителей, а также отсутствием необходимости расчистки просек в процесс эксплуатации линии, замены поврежденных изоляторов;

- Улучшение общей эстетики в городских условиях и значительное снижение случаев поражения электротоком при монтаже, ремонте и эксплуатации линии;

- Возможность прокладки СИП по фасадам зданий, а также совместной подвески с проводами низкого, высокого напряжения, линиями связи, что дает существенную экономию на опорах.

Среди множества безусловных преимуществ СИП можно выделить для объективности и некоторые недостатки:

- Незначительное увеличение стоимости (не более 1,2) изолированных проводов по сравнению с традиционными неизолированными проводами А и АС;

- Пока ещё недостаточная готовность отечественных энергосистем к переходу на изолированные воздушные линии, связанная с отсутствием информации, нормативной документации, инструмента и подготовленного персонала.

*История возникновения СИП.* Первопроходцами в области применения самонесущих изолированных проводов принято считать Францию и Финляндию – энергетики и проектировщики именно этих стран первыми в Европе занялись разработкой стандартов в области проектирования и правил устройства воздушных линий с изолированными (ВЛИ) и защищенными (ВЛЗ) проводами. Впоследствии и другие страны разрабатывали свои системы воздушной подвески, но, как правило, за основу их принимались уже утверждённые в эксплуатацию европейские стандарты.

Во Франции первые связки изолированных проводов ВЛ появились в 1955 г. и представляли из себя медные жилы в резиновой изоляции с оболочкой из неопрена. Поначалу они устанавливались на фасадах зданий, заменяя голые медные провода на изоляторах. С 1962 г. в качестве изоляции стали применять ПВХ, который к 1977 г. был полностью вытеснен светостабилизированным полиэтиленом сетчатой структуры. В качестве токоносителя быстро распространилось применение алюминия, что объясняется его стоимостью и более привлекательным соотношением между весом и электрической проводимостью. Наконец окончательно широкое распространение получили самонесущие изолированные провода марки «Торсада», выпускаемые заводом «Каблери Де Ланс», в которых несущий провод выполнен из термоупрочнённого алюминиевого сплава «альмелек», имеет сечение 54,6 или

70 мм<sup>2</sup> и всегда изолирован, так как по французским стандартам нулевой несущий провод является токонесущим, хотя и заземлён в нескольких точках.

Разработку ВЛ с изолированными проводами в скандинавских странах подтолкнула необходимость уменьшить последствия от повреждений, вызванных суровыми климатическими условиями в данном регионе. Одновременно с этим назрела необходимость более узких трасс электролиний, особенно в условиях плотной городской застройки.

Разработка системы подвесного скрученного кабеля АМКА началась в 1958 г. в Финляндии на предприятии NOKIA KABEL как системы воздушных подвесных проводов низкого напряжения. Система представляет собой скрученные вокруг голого несущего нулевого провода фазных изолированных жил, изоляция которых выполнена из термопластичного полиэтилена. Параллельно были разработаны провода со сшитым полиэтиленом марки АХКА, а также системы АМКА-Т и АХКА-Т – с изолированным несущим тросом для тропических районов с повышенной влажностью.

В настоящее время системой АМКА оборудовано более 170 тыс. км ВЛ 0,4 кВ в Финляндии (около 80%). Система АМКА применена также более чем в 30 странах Южной Америки, Африке, Азии, Ближнего и Дальнего Востока: в Перу – в 1981 г., в Саудовской Аравии – с 1984 г., в Непале – с 1986 г., в горных районах Гималаев – 1989 г. Применение изолированных проводов в южных и горных районах не представляло проблемы, так как изоляция ВЛИ стойка к воздействию ультрафиолета и озона.

Потребность в изолированных проводах среднего класса напряжения была реализована разработкой проводов SАХ.

Первая прокладка изолированных проводов ВЛ 20 кВ осуществлена в 1976 году – это так называемая система ПАС – усиленные алюминиевые провода в пластмассовой изоляции. Позднее, в 1981 г. в Финляндии была построена первая линия системы SАХ, где изоляция проводов была выполнена из полиэтилена. В 1984 г. в эксплуатацию принята вибростойкая система SАХ, оборудованная также устройствами защиты от электрической дуги.

На сегодняшний день система SАХ подразумевает и включает в себя защищённые провода с изоляцией из силаносшиваемого полиэтилена, оборудованные соответствующей линейно-сцепной арматурой, устройствами грозозащиты, виброзащиты и монтажные принадлежности, относящиеся к ним.

В Швеции первые ВЛЗ появились в 1985 году – 3 тыс. км, в Норвегии первые ВЛЗ – в 1986 году построено 2 тыс. км.

Так как в 1990-х годах провода АМКА и SАХ стали поставляться и успешно применяться в России, предприятием NOKIA KABEL в 1995 г. инициирована разработка фирмой ОРГРЭС комплекта нормативно-технической документации на проектирование, сооружение и эксплуатацию опытно-промышленных линий ВЛИ 0,4 кВ, а в 1996 г. – аналогичный комплект документации для ВЛЗ 6-20 кВ.

В настоящее время уже действуют Правила устройства ВЛИ до 1 кВ с СИП, срок действия которых установлен с 01.01.1998 г. по 01.01.2003 г., а также Правила устройства ВЛЗ 6-20 кВ сроком действия с 01.01.1999 г. по 01.01.2004 г.

Разработка и проектирование отечественных СИП были начаты в 1987 г. на Иркутском кабельном заводе. В 1991 г. по ТУ 16.К71-120-91 были запущены в опытное производство провода марок САПт, САСПт, САПш и САСПш. Первая ВЛИ с применением этих проводов в России была смонтирована в Краснодарском крае в 1994 г. в станице Васюринской Динского района. Её протяжённость составляла 3,5 км. Производство проводов марок САПт и САПш вскоре было прекращено в связи с выходом в свет ТУ 16.К71-268-98, которые были разработаны на основе международного гармонизированного стандарта HD626S1 ВНИИКП совместно с ОАО «Севкабель» и при участии департамента электрических сетей РАО «ЕЭС России», «Ленэнерго», института «Западсельэнергопроект».

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** самонесущий изолированный провод

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «НГТУ»  
Попович Максим Николаевич, генеральный директор ООО «Зевс-Электро»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

630039, г. Новосибирск, ул. Воинская, 63, офис 922, ООО «Зевс-Электро»

## ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ОТЯЖЕК ОПОР ВЛ 220-500 кВ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Ю.В. Демин, А.И. Мозилов, А.А. Чураков

### DIAGNOSTICS OF TENSION CABLES OF SUPPORTS OF ELECTRIC MAINS 220-500 kV

«Novosibirsk State academy of water transport»

Yu.V. Demin, A.I. Mozilov, A.A. Churakov

In article it is considered questions of diagnostics of a corrosion condition of anchoring hinges of tension cables of supports of electric mains. The method of diagnostics on the basis of superficial waves is offered. The theoretical substantiation of a method and results of its experimental check are resulted.

Рассмотрены вопросы диагностики коррозионного состояния анкерных петель оттяжек опор ВЛ. Предлагается метод диагностики на основе поверхностных волн. Приводятся теоретическое обоснование метода и результаты его экспериментальной проверки.

После известных случаев падения опор ВЛ 500 кВ в Казахстане были произведены обследования состояния оттяжек указанных опор. Часть этих результатов обследования приведена на рисунке 1. Эти данные подтверждают мысль о коррозионном характере разрушения оттяжек приведших к падению опор. Причем наиболее интенсивно разрушаются анкерные петли (АП) анкерных плит. Разрушения двух АП одной опоры может отличаться значительно (от 0 до 40%).

Термодинамическая возможность коррозии в конкретных условиях обследуемой ВЛ подтверждается диаграммой Пурбе, согласно которой для электрохимического потенциала петли  $-0,49$  В и  $pH=6,8-7,6$  коррозионный процесс стали возможен и будет протекать с выходом ионов  $Fe^{++}$ .

Кроме того, на грунтовую коррозию АП будет наложена еще контактная коррозия. Следовательно, для принятия своевременных мер по ремонту или замене дефектных анкерных плит необходима диагностика их состояния. В то же время, совершенно очевидно, что диагностика состояния АП с помощью механизированной откопки с отключением ВЛ несостоятельна и сопряжена со значительными тратами времени, сил и средств [1].

Попытка производить оценку коррозионной опасности АП по физико-химическим параметрам грунта дает погрешность до 50%, что не приемлемо для практики.

Для диагностики состояния АП был предложен электромагнитный метод, в котором U-образные болты рассматривались как короткозамкнутые обмотки трансформатора.

Исследования этого метода показали, что на его точность сильно влияет взаимное расположение U-образных болтов и помехи от ВЛ промышленной частоты. Чтобы избавиться от помех было предложено повысить частоту в области СВЧ. В частности, это позволило бы уйти от влияния помех при коронировании (1-2 МГц) [2].

**Метод поверхностных волн.** Основная идея предложенного метода заключается в следующем: в АП производится возбуждение от СВЧ генератора поверхностной стоячей волны, фиксируемой в момент резонанса, когда по длине АП укладывается целое число полуволн, и величина затухания которой, определяется степенью коррозии поверхностного слоя АП.

АП в рассматриваемом случае представляет собой одиночный металлический провод, по которому распространяется электрическая волна типа  $E$ , эюра которой приведена на рисунке 2а.

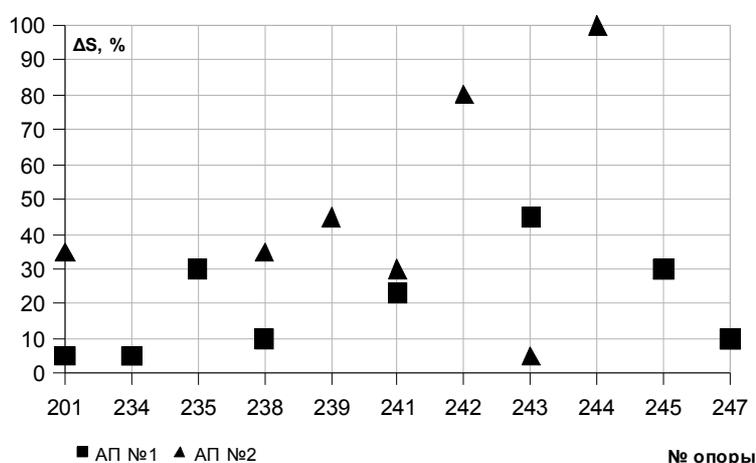


Рисунок 1 – Степень коррозии петель анкерных плит опор ВЛ 500 кВ «Ермак-Экибастуз-Целиноград»

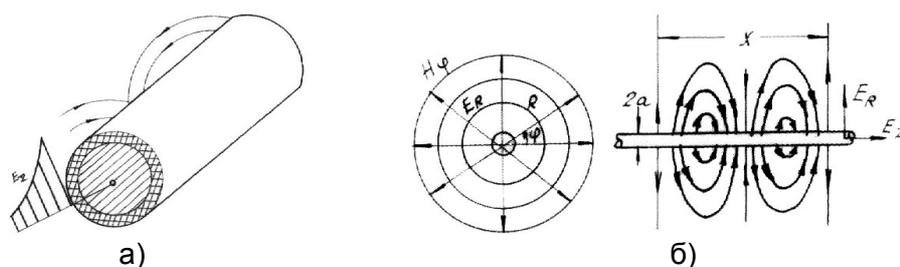


Рисунок 2 – Схематическое изображение эюры поверхностной волны (а) и составляющих напряженностей электромагнитного поля на поверхности проводника (б)

При распространении этой волны вдоль металлического проводника ток проводимости, текущий по нему, не возвращается обратно по второму проводнику, как это имеет место в двухпроводной линии, а замыкается токами смещения в окружающем проводник пространстве. Волны других типов распространяются, в основном, радиально  $E_R$ , но имеют и небольшую коаксиальную составляющую (рисунок 2б).

При высокой проводимости АП поверхностная волна будет создавать электромагнитное поле, занимающее пространство вокруг провода. По мере уменьшения проводимости (вследствие коррозии) напряженность поля внутри проводника будет возрастать. В нашем случае поле концентрируется в небольшом пространстве вокруг петли, а затухание возрастает из-за потерь в слое диэлектрика (продукты коррозии).

Чем толще слой диэлектрика, тем больше концентрация энергии и выше затухание. Затухание поверхностной волны с увеличением частоты возрастает. Чем больше диаметр провода, тем меньше затухание. Граничное расстояние, характеризующее проникновение электромагнитного поля в пространство уменьшается. Теоретическое обоснование данных положений приводится авторами в статье «Расчет затухания поверхностной электромагнитной волны» [3].

Важным для использования предложенного метода является оценка влияния почвы на распространение поверхностных волн, так как при реальных измерениях коррозионного состояния поверхностного слоя исследуемых объектов приходится иметь дело с тройной системой: металл-диэлектрик-почва. Вне коррозионного слоя напряженность электрического поля уменьшается по экспоненциальному закону [4].

Таким образом, поверхностная волна возникает и распространяется вдоль границ раздела разных сред: диэлектрик-проводник. Кроме того, чем больше затухание поверхностной волны в слое диэлектрика, тем меньше радиус распространения ее в почву. Поверхностная волна как бы «прилипает» к диэлектрику, что практически устраняет влияние грунта на результаты измерений затухания в коррозионном слое.

**Экспериментальная проверка метода.** Первоначальный этап реализации способа заключался в следующем: на каждую анкерную петлю (№1 и №2) наматывались две обмотки, состоящие из 1-3 витков медного провода. Одна обмотка через развязывающие элементы присоединялась к СВЧ генератору, вторая – через детекторную секцию к индикатору. АП с возбуждающими элементами становится линией передачи, активным элементом которой является скин-слой. Результаты опытов подтверждают наличие большего затухания в петле №2, подверженной коррозии (таблица 1).

Таблица 1 – Затухание поверхностной волны в коррозионном слое

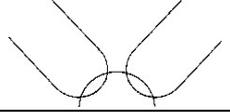
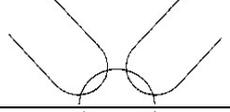
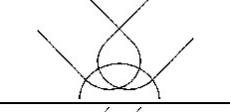
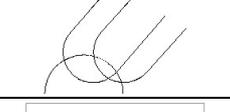
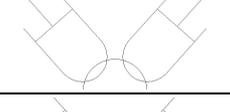
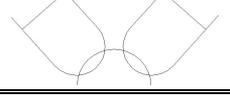
Расположение анкерных болтов	Петля №1 $U_1$ , мВ	Петля №2 $U_2$ , мВ	$U_1/U_2$
	500	90	~800
	700	75	
	800	90	
	90	0,45	~200
	145	0,45	
	90	0,45	
	900	9	~125
	980	6	
	950	7,5	

Подтверждение предположения о различных затуханиях поверхностной волны в слое без коррозии и с коррозией позволило перейти к реальной модели узла анкерной петли и попробовать осуществить возбуждение поверхностной волны через АБ, выходящие на поверхность земли.

Особенно важно было исключить влияние произвольного расположения АБ и заземлителей, монтаж которых не всегда соответствует проектному, что практически приводит к невозможности контроля состояния АП на низких частотах, так как в определенных случаях болты смонтированы на очень близких расстояниях друг от друга и даже имеют точки соприкосновения. Это приводит к измерению их влияния на изменение сопротивления АП, которое значительно меньше Ома, а не изменений за счет коррозии поверхностного слоя АП. Аналогичное действие оказываем и неправильное расположение ИЗ. Практически, на низких частотах изменение сопротивления схемы за счет произвольного расположения АБ и подключения ИЗ значительно больше, чем за счет коррозии, то есть изменений в поверхностном слое петли, что подтверждается расчетами и исследованиями на низкочастотном измерителе.

При использовании СВЧ мощности, когда обмотка нанесена на АБ и он становится индуктивным элементом связи, передающим СВЧ мощность на АП, влияние расположения болтов становится незначительным в сравнении с влиянием коррозии поверхностного слоя АП. Это подтверждается экспериментально, причем в таблице 2 рассмотрены случаи как раз неправильного расположения болтов.

*Таблица 2 – Влияние произвольного расположения болтов на результаты измерений*

Схема расположения U-образных болтов и обмоток	Частота, МГц	Величина сигнала, мкВ		$U_1/U_2$
		целая АП, $U_1$	дефектная АП, $U_2$	
	1867	2328	9,96	233,7
	2100	14,6	0,3	48,8
	2590	2382	7,98	298,5
	2110	108,3	0,45	240
	2117	943,3	7,5	125,7
	2105	120	–	–
	2105	120	–	–

Это, также, полностью подтверждается расчетным путем. На высоких частотах сопротивление АП с учетом АБ составляет 9,35 Ом, а сопротивление поверхностного коррозионного слоя АП – 200 Ом.

Это является наиболее важным заключением, так как невозможность отстройки на низкой частоте и постоянном токе от произвольного расположения АБ не позволяло использовать их в качестве элементов связи с генератором.

Для исследования влияния промышленной частоты и ИЗ, бы ли проведены опыты, имитирующие промышленную сеть под нагрузкой. При этом не было отмечено значительных

изменений, а помехи вызывали лишь незначительные колебания сигнала, снижая его уровень не более, чем на 0,1%.

Все приведенные доказательства подтверждают различие реакции исходной петли и пораженной коррозией на зондирование СВЧ сигналом, что позволяет использовать этот эффект для исследования состояния АП, находящейся в земле без откопки, применяя в качестве возбуждающих элементов АБ, находящиеся на поверхности земли. Условия возникновения поверхностной волны в АП и возможность ее распространения только поверхностном слое позволяют определить критическую толщину петли, а, следовательно, и ее способность выдерживать механические нагрузки, что, в свою очередь, дает возможность предотвращать падение опор линий ЭП.

Полевые испытания предложенного метода проводились на действующей линии ВЛ 220 кВ «Кентау-Чимкент» и заключались в исследовании U-образных болтов с помощью метода поверхностных волн, с последующей откопкой для подтверждения результатов измерений. Результаты измерений приведены в таблице 3.

*Таблица 3 – Результаты измерений на линии ВЛ 220 кВ «Кентау-Чимкент»*

№ опоры и болта	Частота, МГц	Предел измерения, мВ	Уровень сигнала, дел.	Сигнал, мкВ	Состояние U-образного болта
344 (1)	2018	0,3	73	220	
344 (2)	2438	1	70	700	
344 (3)	2020	0,01	70	7	
344 (4)	2021	0,001	70	0,7	Сильная коррозия, $\varnothing = 27$ мм, глубина 0,6 м
345 (1)	2038	3	60	1800	
345 (2)	2559	3	30	900	Коррозии нет, $\varnothing = 32$ мм
345 (3)	2032	1	55	550	
345 (4)	2032	1	60	600	
347 (2)	2020	1	80	800	Болт заменен
347 (3)	2067	3	50	1500	
347 (4)	2018	0,1	40	50	Коррозия 10%
351 (1)	2019	0,3	70	210	Болт целый, $\varnothing = 32$ мм (болты долго находились в воде)
351 (2)	2537	3	70	2100	
351 (3)	2191	3	30	900	

**Выводы.** Рассмотренный способ диагностики коррозионного состояния АП оттяжек опор ВЛ позволяет с высокой точностью оценить состояние поверхностного слоя АП без откопки. Метод нечувствителен к неверному расположению анкерных болтов и искусственного заземлителя, чем выгодно отличается от прочих известных методов.

Измерения подтвердили работоспособность способа, однако необходимо создать переносной прибор с автономным питанием и элементами связи, не влияющими друг на друга и исследовать варианты экранирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Демин, Ю.В. Обеспечение долговечности электросетевых материалов и конструкций в агрессивных средах. Кн.1. Теоретические основы / Ю.В. Демин, Р.Ю. Демина, В.П. Горелов; под ред. В.П. Горелова. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 1998. -209 с.

2 Мозилов, А.И. Повышение долговечности подземных конструкций опор на оттяжках воздушных линий электропередачи: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02 / А.И. Мозилов. - Новосибирск, 2002. -149 с.

3 Демин, Ю.В. Расчет затухания поверхностной электромагнитной волны / Ю.В. Демин, А.И. Мозилов, Б.В. Палагушкин, А.А. Чураков // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. -2008. -№2. -С. 285-288.

4 Мозилов, А.И. Влияние грунта на распространение поверхностных волн при определении коррозионного состояния U-образных болтов и анкерных петель опор ВЛ / А.И. Мозилов, Ю.В. Демин // Электроснабжение, энергосбережение, электрификация и автоматика

предприятий и речных судов: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. водн. трансп. -Новосибирск, 2001. -С. 186-190.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** опоры воздушных линий электропередач с оттяжками, диагностика коррозионного состояния, анкерные петли, метод поверхностной волны

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Дёмин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Мозилов Александр Иванович, канд. техн. наук, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Чураков Александр Александрович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина,33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## **ЦИФРОВОЙ СЛЕДЯЩЕ-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОСТОЯННОГО ТОКА**

**ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»**

**Ю.В. Панкрац**

**DIGITAL PULSE PHASE DC ELECTRIC DRIVE**  
«Novosibirsk state technical university»  
Yu.V. Pankratz

It's considered digital DC electric drive realization. It's used pulse transducer of mechanical coordinates BE-178A. Control problem decided by 8-bits microcontroller ATMEL – ATMEGA16.

Рассмотрена реализация цифрового электропривода (ЭП) постоянного тока. Задача обработки сигналов импульсного датчика механических координат BE-178A, а также задача управления в целом возложена на 8-разрядный микроконтроллер ATMEL – ATMEGA-16.

Рассматриваемый и подобные ЭП могут быть использованы в качестве исполнительных элементов автоматических устройств, к которым предъявляют жесткие требования по точности и диапазону регулирования скорости, быстродействию и массогабаритным показателям. Таким требованиям отвечает электропривод постоянного тока (как коллекторный, так и бесколлекторный).

В данной работе решались следующие задачи: разработка оптимального по быстродействию алгоритма управления электроприводом с коллекторным двигателем постоянного тока; обеспечение максимальной точности регулирования скорости; разработка алгоритма управления обработки сигналов с импульсного датчика скорости.

Для реализации основного закона управления выбран микроконтроллер (МК) AVR ATMEGA-16-16AU, достоинством которого является выгодное соотношение показателей цена/быстродействие/энергопотребление, и являющееся едва ли не лучшим на рынке 8-битных микроконтроллеров. Кроме того, постоянно растет число выпускаемых сторонними производителями разнообразных программных и аппаратных средств поддержки разработок устройств на основе таких МК [1, 2].

Цифровой электропривод, в частности ЭП с программным управлением, имеет большое преимущество в удобстве управления, модернизации, и реализации сложных алгоритмов управления. Дискретные регуляторы обычно обладают худшими качественными характеристиками, чем непрерывные. Последнее объясняется тем, что дискретные выборки сигналов содержат меньше информации, чем непрерывные [3]. Для улучшения качественных характеристик используют разнообразные алгоритмы и способы управления (например, стремятся уменьшить такт квантования). Одним из таких способов повышения точности регулирования скорости является регулирование по фазовому рассогласованию исполнительного вала и задающего. ЭП, использующие указанный принцип называются следяще-регулируемыми или электроприводы с импульсно-фазовым управлением [4-6].

Структура следяще-регулируемого электропривода (СРЭП) показана на рисунке 1, где обозначено: БЗЧ-блок задания частоты; ЛУС-логическое устройство сравнения частоты задания ( $f_s$ ) и частоты, пропорциональной скорости вращения вала двигателя ( $f_{oc}$ ); ОУ-объект управления; ЧД-частотный датчик.

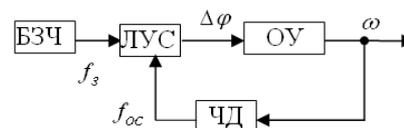


Рисунок 1 – Структурная схема СРЭП

Для реализации необходимого закона управления электромагнитным моментом двигателя введена обратная связь по току якоря. На рисунке 2 представлена функциональная схема контура тока, полученная после преобразования

дифференциальных уравнений контура,  $p$ -оператор Лапласа,  $T_a$ -электромагнитная постоянная якоря двигателя;  $k_{\text{ШИП}}$ -коэффициент усиления широтно-импульсного преобразователя;  $T_0$ -время дискретизации;  $k_{\text{ос}}$ -коэффициент усиления обратной связи по току;  $I_a$ -ток двигателя;  $U_{\text{зи}}$ ,  $U_{\text{ocl}}$ -напряжения задания и обратной связи соответственно.

Проведя оценку характеристик контура тока якоря, пришли к выводу, что целесообразно компенсировать электромагнитную постоянную  $T_a$ . Регулятору тока придадим вид пропорционально-интегрального

$$W_{\text{pm}}(p) = k_{\text{pm}} \frac{T_a p + 1}{p}.$$

Численное значение коэффициента усиления регулятора тока определим следующим образом. Замкнутая передаточная функция контура имеет вид

$$W_{\text{зам}}(p) = \frac{k_{\text{pm}} k_{\text{ШИП}} R_a^{-1} p^{-1}}{k_{\text{pm}} k_{\text{ШИП}} R_a^{-1} p^{-1} k_{\text{ос}} + 1} = \frac{k_{\text{ос}}^{-1}}{1 + T_{\text{км}} p}.$$

Пусть

$$\Omega_{\text{кpm}} = \frac{1}{T_{\text{км}}} = \frac{k_{\text{pm}} k_{\text{ШИП}} k_{\text{ос}}}{R_a} \leq \frac{f_{\text{ШИП}}}{k_{\text{рч}}},$$

где  $k_{\text{рч}}$  – коэффициент разделения частот, а именно собственной частоты замкнутого контура от частоты в контуре тока (частоты широтно-импульсного преобразователя).

Задавшись  $k_{\text{рч}}$ , можно определить  $k_{\text{pm}}$ .

Необходимым условием проверки правильности является цифровое моделирование с учетом дискретности. Существуют различные способы получения дискретных моделей. Наиболее простой основан на непосредственном переходе от системы дифференциальных уравнений для непрерывной системы к системе так называемых разностных уравнений для дискретной системы. Метод справедлив если интервал дискретизации по времени на порядок меньше самой малой постоянной времени системы, то есть опрос и выборка управляющих воздействий производится значительно быстрее, нежели успевает измениться какая-либо из переменных состояния [7]. На рисунке 3 показана структурная схема того же контура тока в z-изображениях.

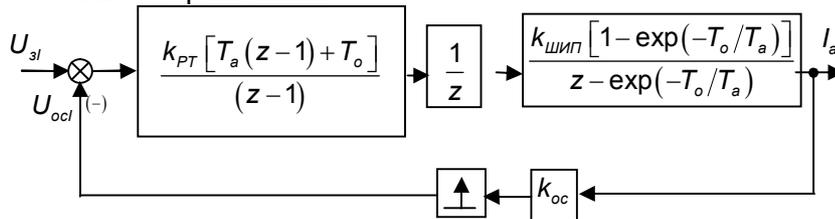


Рисунок 3 – Структурная схема контура тока

обеспечивается при коэффициенте разделения частот равном 1,5-2 при частоте коммутации силовых ключей 1 кГц (рисунок 4а). На рисунке 4б представлен график переходного процесса для случая  $f_{\text{ком}} = 100$  кГц. Данная частота характерна для ЭП силовых исполнительных устройств автоматики.

Физически ШИМ реализован на МК. Для этой цели в МК ATMEGA16 имеется два 8-битных и один 16-битный таймер-счетчик [1, 2], каждый из которых может работать в режиме ШИМ, называемым Phase correct (ШИМ с точной фазой). В этом режиме счетный регистр функционирует как реверсивный счетчик, изменение состояния которого осуществляется по каждому импульсу тактового сигнала. Возможная максимальная частота ограничивается единицами МГц (в зависимости от выбранной тактовой частоты работы МК). Решающими факторами выбора частоты коммутации являются потери энергии в электродвигателе и транзисторах, а также пульсации скорости. Предварительно выбранная частота составляет

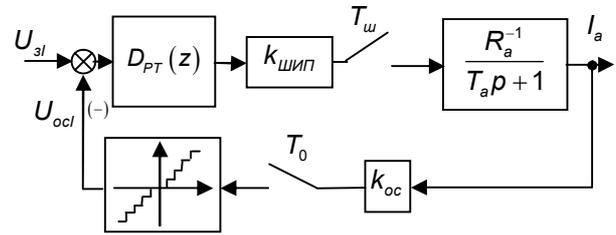


Рисунок 2 – Функциональная схема контура тока

3,6 кГц, настроенная выбором коэффициента предварительного делителя частоты 1024.

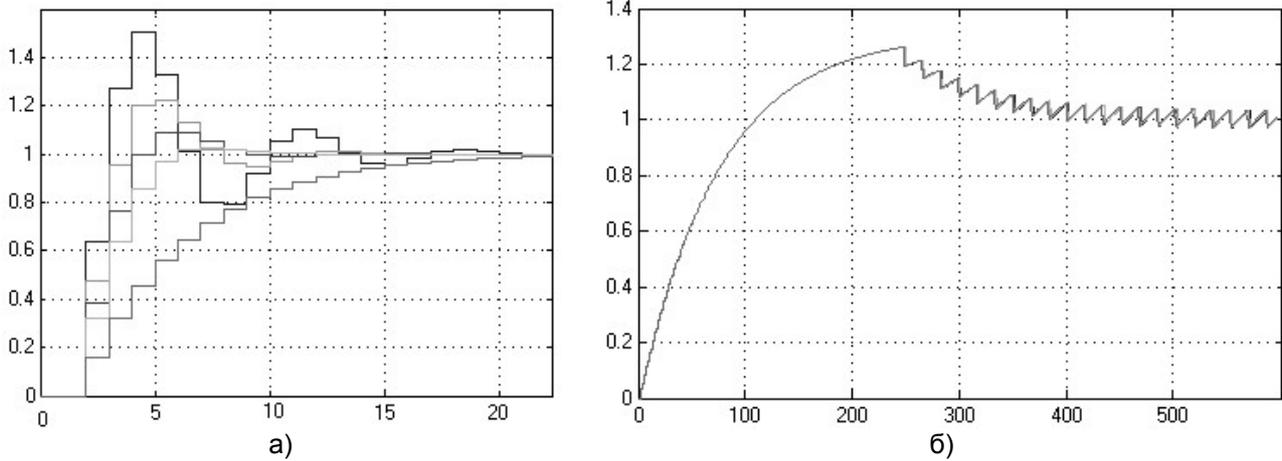


Рисунок 4 – Графики переходных процессов по току якоря

Для преобразования информации о токе якоря используется 10-ти разрядный встроенный аналого-цифровой преобразователь. Частота преобразования выбрана так, чтобы не вносить существенной задержки, а с другой стороны иметь приемлемую точность преобразованного сигнала. Итак, исходя из тактовой частоты МК (8 МГц) примем частоту преобразования 125 кГц.

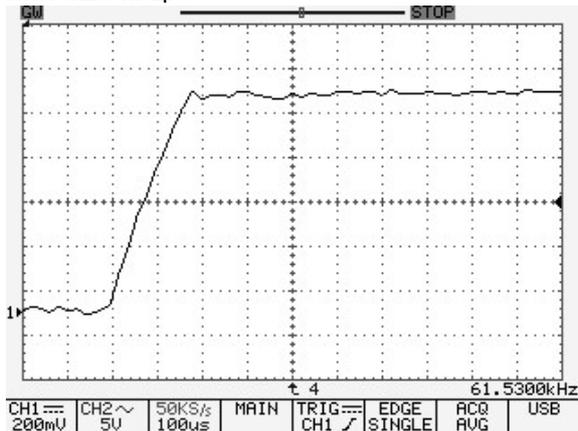


Рисунок 5 – График переходного процесса по току якоря

На рисунке 5 приведен переходной процесс по току якоря, снятый на действующей модели ЭП, мощностью 20 Вт, номинальный составляет ток 1,5 А.

Недостатком используемого МК является отсутствие интерфейса для работы с импульсным датчиком скорости. Импульсный датчик скорости выдает сигналы по двум каналам  $U_1$  и  $U_2$ , которые смещены друг относительно друга на определенный угол. Так же датчик имеет третий канал  $U_0$ , предназначенный для определения начала движения.

Направление вращения определяется очередностью поступления сигналов  $U_1$  и  $U_2$  после прихода сигнала  $U_0$ . Алгоритм обработки наиболее

удачно может быть реализован, если использовать так называемые внешние прерывания микроконтроллера (МК). Данный МК содержит три таких прерывания, которые могут специализироваться как по уровню сигнала, так и по фронту (нарастающему либо спадающему).

Один из 8-ми разрядных таймеров настроен на отсчет короткого интервала времени  $T_1$ , по истечении которого формируется запрос на прерывание, а таймер перезапускается заново. Указанная подпрограмма определяет среднюю скорость, посредством арифметического деления накопленного количества импульсов на временной интервал  $T_1$ , после чего переменная, накапливающая импульсы датчика обратной связи обнуляется. Зафиксировать график переходного процесса по скорости, можно с помощью накопления информации в МК, а после окончания пуска передать инфор-

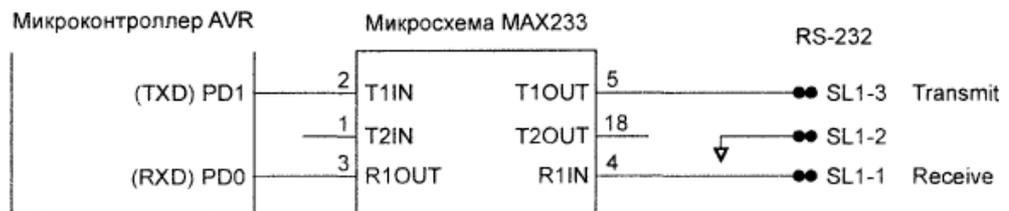


Рисунок 6 – Схема сопряжения МК AVR с интерфейсом RS232 через микросхему MAX233

мацию в персональный компьютер (ПК) через последовательный порт RS232 для последующей обработки (рисунок 6).

Максимально возможная скорость поступления импульсов с датчика на МК составляет 200 кГц (при работе МК на частоте 8 МГц). Если взять  $T_1$  0,5 с то можно получить диапазон измерения скорости 1:100000 с точность не ниже 0,1.

Логическое устройство сравнения, с описанием работы которого можно ознакомиться в [5], реализовано программно. Вся управляющая программа легко реализуется как на ассемблере, так и на языке С.

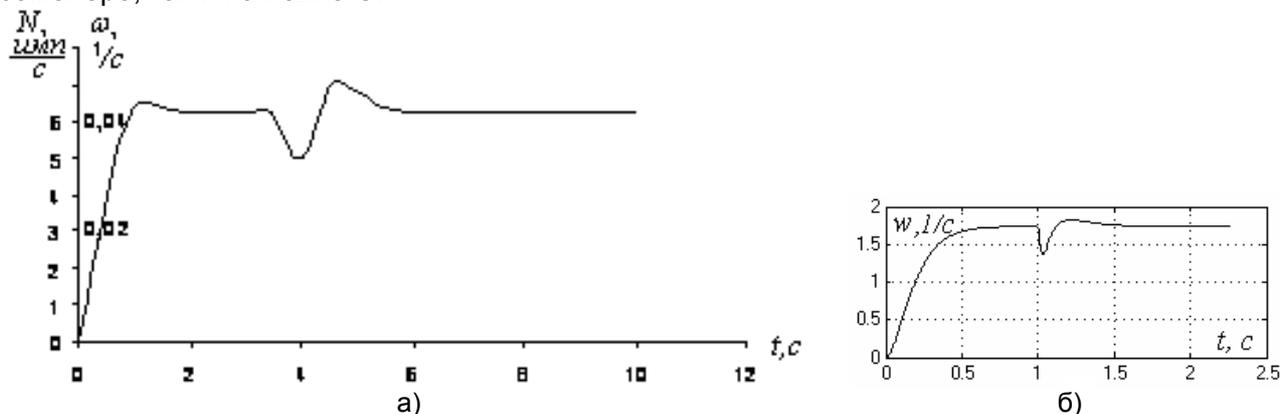


Рисунок 6 – Графики переходных процессов по скорости

На рисунке 6а представлен график переходного процесса по скорости, полученный с после обработки информации на ПК, на рисунке 6б показан график переходного процесса по скорости, который был произведен помощью цифрового моделирования в программе MATLAB.

И так, результаты моделирования с учетом дискретности управляющего устройства совпали с экспериментом. На основе опытов с реальной моделью определен диапазон регулирования скорости, который составил 1:100000. Однако, такая система определения низких скоростей требует тарирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Евстифеев, А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega: руководство пользователя / А.В. Евстифеев. -М.: Додэка-XXI, 2007. -592 с.: ил. -(Серия «Программируемые системы»).
- 2 Евстифеев, А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL / А.В. Евстифеев. -2-е изд., стер. -М.: Додэка-XXI, 2005. -560 с.
- 3 Изерман, Р. Цифровые системы управления: пер. с англ. / Р. Изерман. -М.: Мир, 1984. -541 с.: ил.
- 4 Башарин, А.В. Управление электроприводами: учеб. пособие для вузов / А.В. Башарин, В.А. Новиков, Г.Г. Соколовский. -Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. -392 с.: ил.
- 5 Бубнов, А.В. Вопросы теории и проектирования прецизионных синхронно-синфазных электроприводов постоянного тока: монография / А.В. Бубнов. -Омск: Ред. журн. «Омск. науч. вестн.», 2005. -190 с.
- 6 Автоматизированный электропривод // 16-я Всероссийская конференция «АЭП-2007», Санкт-Петербург, 18-21 сент. 2007 г.: тр. конф. -С. 231-234.
- 7 Ильинский, Н.Ф. Общий курс электропривода: учеб. для вузов / Н.Ф. Ильинский, В.Ф. Козаченко. -М.: Энергоатомиздат, 1992. -554 с.: ил.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электропривод постоянного тока, цифровое управление, импульсно-фазовое управление  
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Панкрац Юрий Витальевич, ассистент ГОУ ВПО «НГТУ»  
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

## АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН НА ТОКОПРИЕМНИКЕ ЭЛЕКТРОВОЗА В РЕЖИМАХ ТЯГИ И РЕКУПЕРАЦИИ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

С.Я. Привалов

ANALYSIS OF ELECTRICAL VALUES AT THE PANTOGRAPH OF ELECTRIC MODES OF PROPULSION AND RECOVERY  
«Omsk state transport university»  
S.Ya. Privalov

The article gives some results of the analysis of experimental studies of higher harmonic components of voltage and current, power harmonics, phase shift in the electric current collector, with adherence to the applicable section of the rail electrified railway in the modes of propulsion and recovery.

Приведены некоторые результаты анализа экспериментальных исследований высших гармонических составляющих напряжения и тока, мощности гармоник, фазового сдвига на токоприемнике электровоза при следовании по действующему участку железной электрифицированной железной дороге переменного тока в режимах тяги и рекуперации.

При анализе электрических режимов, показателей качества электрической энергии (ПКЭ), а также при разработке мероприятий по оптимизации режимов и условий электромагнитной совместимости необходимо располагать знаниями об изменениях во времени действующих значений токов и напряжений, мощностей, спектров высших гармоник, коэффициентов несинусоидальности и т.п. С этой целью были проведены экспериментальные исследования высших гармоник напряжения и тока на токоприемнике электровоза. Эксперимент проведен на действующем участке электрифицированной железной дороге переменного тока на напряжении 27,5 кВ.

Измерение осуществлялось на электровозе ВЛ-85 с помощью измерительно-вычислительного комплекса ИВК «Омск» в двух режимах – тяги и рекуперации. Для этого электроподвижной состав был оборудован помимо четырех штатных счетчиков Ф442 микропроцессорными электронными счетчиками Альфа типа А2R-3AL-C8-T класса точности 0,5. Токосчетчики Альфа подключались к штатным трансформаторам тока электровоза. Для питания цепей напряжения счетчиков Альфа был установлен измерительный трансформатор ЗНОМ-35 с коэффициентом трансформации 27500/100.

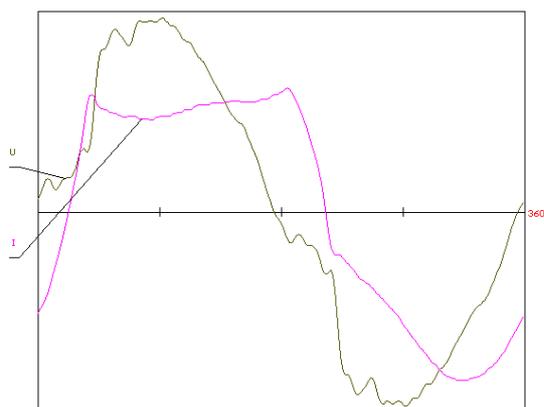


Рисунок 1 – Осциллограммы напряжения и тока на электровозе ВЛ-85 при следовании по экспериментальному участку в режиме тяги ( $I = 246,47 \text{ A}$ ;  $U = 25686 \text{ B}$ )

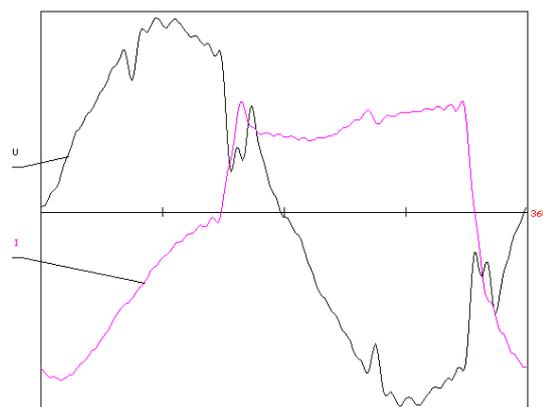


Рисунок 2 – Осциллограммы напряжения и тока на электровозе ВЛ-85 при следовании по экспериментальному участку в режиме рекуперации ( $I = 193,71 \text{ A}$ ;  $U = 27869 \text{ B}$ )

В ходе проведения эксперимента были получены осциллограммы напряжений и токов на пантографе электровоза. На рисунке 1 приведены осциллограммы напряжения и тока при максимальном потреблении, а на рисунке 2 – при максимальном возврате электрической энергии. Как видно из рисунков кривые напряжения и тока в режимах тяги и рекуперации имеют практически идентичную форму. В материалах статьи приведены первые (рисунок 3) и третьи (рисунок 4) гармоники тока на электровозе при следовании по экспериментальному

участку в режимах тяги и рекуперации. На рисунке 3  $\Delta\varphi_{r1}$ -диапазон изменения фазового сдвига первой гармоники в режиме тяги, а  $\Delta\varphi_{p1}$ - в режиме рекуперации. На рисунке 4  $\Delta\varphi_{r3}$ ,  $\Delta\varphi_{p3}$ -диапазон изменения фазового сдвига третьей гармоники в режиме тяги и рекуперации соответственно. Из рисунка 3 следует, что фазовый сдвиг первой гармоники в режиме тяги изменяется в диапазоне от  $26,8^\circ$  до  $32,8^\circ$ , а в режиме рекуперации – от  $125,3^\circ$  до  $130,6^\circ$ .

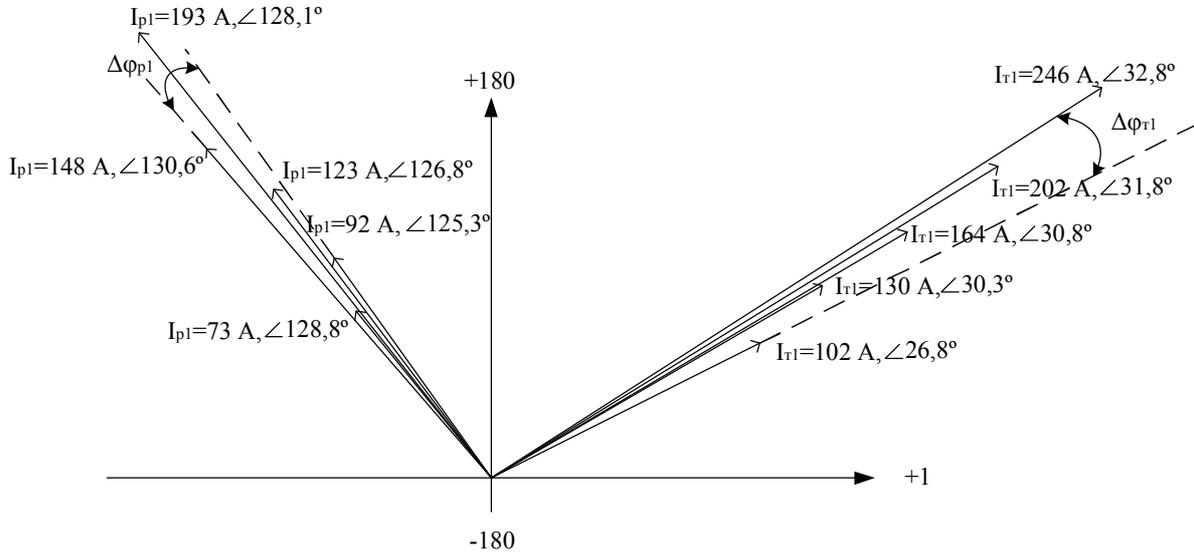


Рисунок 3 – Первые гармоники тока на электровозе ВЛ-85 при следовании по экспериментальному участку в режимах тяги и рекуперации

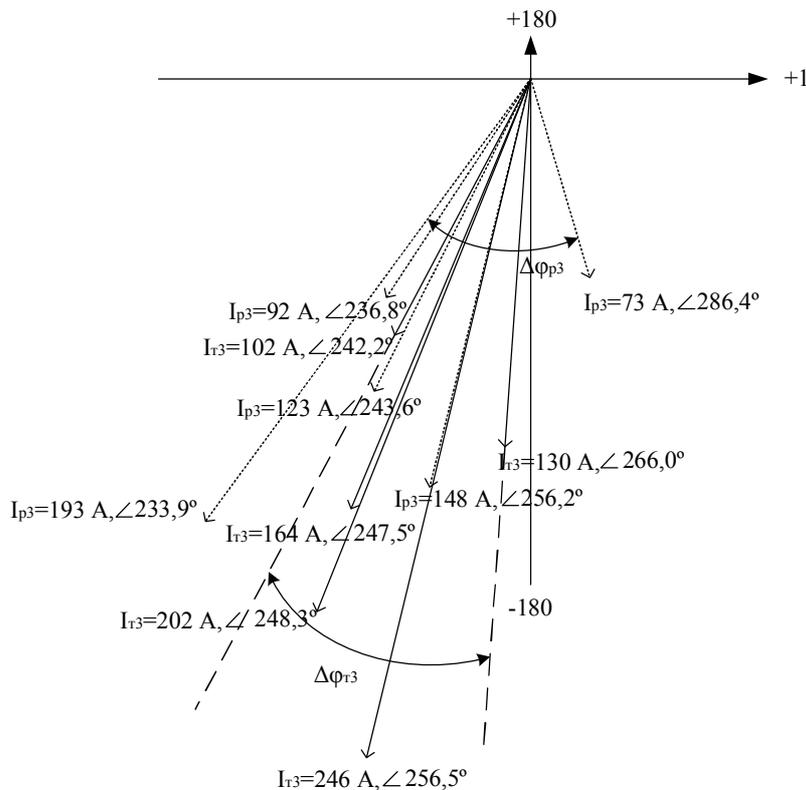


Рисунок 4 – Третьи гармоники тока на электровозе ВЛ-85 при следовании по экспериментальному участку в режимах тяги и рекуперации

Расчетные значения мощности гармоник при максимальном потреблении и возврате электроэнергии приведены в таблице 1. Из которой следует, что все гармоники генерируются электровозом в питающую сеть (мощность практически всех гармоник отрицательная). Диапазоны изменения угла между напряжением и током  $U$ -ой гармоники в режимах тяги и

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

рекуперации практически одинаковые (таблица 2).

Таблица 1 – Мощность гармоник на электровозе ВЛ-85 при следовании по действующему участку электрифицированной железной дороге переменного тока в режимах тяги и рекуперации

n	Тяга ( $I = 246,5 \text{ A}$ ; $U = 25686 \text{ В}$ )						Рекуперация ( $I = 193,7 \text{ A}$ ; $U = 27869 \text{ В}$ )					
	$U_n, \text{ В}$	$\varphi_U, ^\circ$	$I_n, \text{ A}$	$\varphi_I, ^\circ$	$P_n$	$Q_n$	$U_n, \text{ В}$	$\varphi_U, ^\circ$	$I_n, \text{ A}$	$\varphi_I, ^\circ$	$P_n$	$Q_n$
1	25686,0	0,0	246,5	327,2	5322130,7	3429879,2	27869,0	0,0	193,7	231,9	-3330898,7	4248052,5
3	2213,8	201,7	46,8	305,2	-24186,3	-100743,2	1531,0	160,1	46,3	286,2	-41738,3	-57237,5
5	1642,3	133,0	26,5	234,2	-8453,3	-42692,1	1311,0	275,1	24,5	13,8	-4858,4	-31749,9
7	1811,2	82,7	13,2	179,9	-2996,4	-23719,3	780,0	350,4	16,0	103,6	-4916,4	-11470,8
9	946,7	19,8	7,5	117,2	-914,5	-7041,1	1605,9	62,1	12,7	180,4	-9669,0	-17957,3
11	631,3	240,8	4,2	38,3	-2449,6	-1014,7	1621,0	149,7	9,0	265,8	-6418,3	-13101,3
13	550,7	158,5	3,8	308,3	-1808,6	-1052,6	1402,6	182,2	7,1	343,0	-9404,5	-3275,0
15	492,6	48,5	3,2	232,8	-1571,9	118,2	1112,8	294,2	5,5	63,9	-3909,5	-4709,0
17	354,5	329,1	3,3	174,5	-1056,8	501,8	370,8	331,1	3,5	142,2	-1282,2	-200,8
19	152,9	318,3	2,5	110,4	-337,8	-178,9	742,1	57,5	2,6	217,6	-1814,2	-656,7
21	271,1	246,0	2,0	29,9	-438,1	-319,5	163,0	213,1	1,2	325,2	-73,6	-181,2
23	264,9	142,1	1,4	298,9	-340,9	-146,1	222,2	237,5	0,6	348,7	-48,2	-124,3
25	358,7	22,4	1,1	227,9	-356,1	169,9	600,0	44,0	0,8	180,2	-346,4	-332,2
27	448,7	308,7	1,3	157,5	-511,2	281,0	310,4	174,2	1,3	347,2	-400,5	-49,2
29	277,9	236,5	1,0	107,0	-176,8	214,4	583,7	164,5	0,9	67,3	-65,8	521,2
31	221,1	181,5	0,9	41,8	-151,8	128,7	668,9	283,9	2,1	136,3	-1186,0	752,7
33	99,0	101,0	0,5	341,2	-24,6	43,0	285,0	322,1	1,8	233,9	16,1	512,7
35	97,2	42,0	0,6	190,0	-49,5	-30,9	623,5	53,1	1,9	297,2	-517,5	1065,7
37	188,5	259,8	0,4	65,1	-72,9	-19,1	299,8	147,2	2,4	32,1	-305,2	651,6
39	102,5	144,2	0,5	96,8	34,7	37,7	388,4	183,1	1,9	100,8	98,9	731,3

Таблица 2 – Диапазон изменения фазового сдвига U-ой гармоники в режимах тяги и рекуперации

Номер гармоники	Диапазон изменения фазового сдвига U-ой гармоники, $^\circ$	
	тяга	рекуперация
1	26,8-32,8	125,3-130,6
3	242,2-266,0	233,9-286,4
5	250,3-283,4	194,8-261,3
7	262,8-294,8	195,7-18,8
9	260,9-289,6	213,8-248,8
11	191,7-299,3	151,9-243,9
13	195,4-290,4	159,7-217,0
15	144,3-186,3	213,2-242,1
17	94,9-175,8	96,4-195,4
19	116,1-222,5	183,0-201,8
21	170,8-216,1	160,9-247,9
23	166,8-216,9	170,4-248,8
25	95,7-220,4	133,6-223,8
27	130,9-198,9	134,8-196,9
29	103,3-174,6	97,2-219,0
31	32,2-149,2	103,9-183,5
33	24,6-126,3	66,0-213,4
35	87,4-212,0	115,9-194,0
37	80,1-217,9	56,8-224,9
39	47,7-180,7	82,3-155,7

Было установлено, что коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения при максимальном возврате ( $k_{U_{PEK}} = 14,26\%$  при  $I_{PEK} = 193,7 \text{ A}$ ) и максимальной тяге ( $k_{U_{ТЯГА}} = 14,32\%$  при  $I_{ТЯГА} = 246,5 \text{ A}$ ) сопоставимы. Но в тоже время коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения при минимальном возврате ( $k_{U_{PEK}} = 8,58\%$  при

$I_{PEK} = 92,8$  А) больше, чем при минимальной тяге ( $k_{У ТЯГА} = 5,90\%$  при  $I_{ТЯГА} = 102,9$  А).

Выводы, полученные в ходе проведения гармонического анализа:

- 1 Гармонический состав в режимах тяги и рекуперации практически одинаковый;
- 2 Мощность практически всех высших гармонических составляющих отрицательная;
- 3 Диапазоны изменения угла между напряжением и током  $U$ -ой гармоники в режимах тяги и рекуперации практически одинаковые;
- 4 Фаза тока в режимах тяги и рекуперации изменяется в широком диапазоне.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** гармонический анализ, фазовый сдвиг, мощность гармоник, режим тяги, режим рекуперации

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Привалов Станислав Янович, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

## **АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАСХОД ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА НЕТЯГОВЫЕ НУЖДЫ СТРУКТУРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

**А.А. Комяков**

**THE ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE EXPENSE OF ELECTRIC ENERGY ON NOT TRACTION NEEDS OF THE LINEAR ENTERPRISES OF A RAILWAY TRANSPORTATION**

«Omsk state transport university»

A.A. Komyakov

The influence of various factors on the expense of electric energy on not traction needs of the linear enterprises of a railway transportation is considered in article. The mathematical model for the analysis of the expense of the electric energy is executed. The experimental researches in structural units of the Western-Siberian railway is made. Classification of typical objects depending on prominent features of a power consumption is offered.

Рассмотрено влияние различных факторов на расход электрической энергии на нетяговые нужды линейных предприятий железнодорожного транспорта. Составлена математическая модель для анализа расхода электроэнергии, в соответствии с которой выполнены экспериментальные исследования в структурных подразделениях Западно-Сибирской железной дороги. Предложена классификация типовых объектов в зависимости от характерных особенностей электропотребления.

В соответствии с «Энергетической стратегией ОАО «Российские железные дороги» на период до 2010 г. и на перспективу до 2030 г.» одной из приоритетных задач энергетической политики ОАО «РЖД» является значительное снижение удельного расхода топливно-энергетических ресурсов во всех сферах деятельности компании. В то же время необходимо отметить, что на сегодняшний день на железнодорожном транспорте недостаточно внимания уделяется анализу расхода электрической энергии на нетяговые нужды и оценке степени влияния различных факторов на объем электропотребления.

Внешние факторы, влияющие на потребление электроэнергии, могут быть разделены на три группы:

- природно-климатические факторы (географическое положение, сезонные изменения температуры и продолжительности светового дня, погодные условия);
- производственно-технологические факторы (фактически выполненный объем ремонтно-эксплуатационных работ, несоблюдение графика планово-предупредительного ремонта, несоответствие технических характеристик оборудования технологическим нормативам);
- субъективные факторы (несоблюдение технологии работ, нерациональное использование систем отопления и освещения, простои оборудования в режиме холостого хода, несанкционированное использование оборудования).

Таким образом, расход электрической энергии на нетяговые нужды структурных подразделений (далее – СП) ОАО «РЖД» в общем виде может быть представлен в виде функции от факторов трех видов

$$W = f(F_{\text{природ-клим}}, F_{\text{произв-техн}}, F_{\text{субъект}}) + e, \quad (1)$$

где  $e$  – случайная составляющая, представляющая ненаблюдаемые эффекты, влияющие на расход электрической энергии.

На практике учет субъективных факторов представляется затруднительным, поэтому примем допущение о незначительности влияния этих факторов на расход электрической энергии.

Из числа природно-климатических факторов для дальнейших исследований представляется целесообразным рассмотреть влияние температуры окружающей среды и сезонных изменений продолжительности дня на объем электропотребления. Прочие факторы либо не изменяются во времени для конкретного предприятия (географическая широта), либо не поддаются достоверному прогнозированию на продолжительный период (облачность, осадки). Аналогично из числа производственно-технологических факторов наибольший интерес для исследований представляет изменение объема ремонтно-эксплуатационной работы СП ОАО «РЖД» и предприятия в целом.

С учетом вышеизложенной модели, характеризующая расход электрической энергии по предприятию, может быть представлена в следующем виде

$$W = f(t, L_{\text{св. дня}}, V', V) + e, \quad (2)$$

где  $t$  – температура окружающей среды, °С;

$L_{\text{св. дня}}$  – продолжительность светового дня, мин.;

$V'$  – объем ремонтно-эксплуатационной работы цеха, отделения или производственного участка;

$V$  – объем ремонтно-эксплуатационной работы СП в целом.

Полученная математическая модель дает возможность оценить степень влияния каждого из факторов на объем электропотребления.

Для оценки степени влияния внешних факторов на расход электрической энергии выполнены экспериментальные исследования в СП Западно-Сибирской железной дороги.

В ходе проведения эксперимента осуществлен сбор данных в соответствии с математической моделью (2) для различных типовых объектов СП, под которыми следует понимать цеха, отделения или производственные участки СП независимо от его принадлежности по хозяйствам железной дороги или иных филиалов ОАО «РЖД», характеризующиеся определенным набором электрооборудования, видами выполняемых работ и режимами работы.

Таким образом, к числу исследуемых типовых объектов отнесены:

- 1) сварочное отделение локомотивного депо;
- 2) тяговая подстанция дистанции электроснабжения;
- 3) пункт технического обслуживания вагонного депо;
- 4) котельная дистанции гражданских сооружений, водоснабжения и водоотведения;
- 5) административный корпус локомотивного эксплуатационного депо;
- 6) железнодорожная станция.

Выбор объектов для исследования обусловлен, во-первых, необходимостью охвата цехов, подразделений и производственных участков различных хозяйств железных дорог, и, во-вторых, целесообразностью рассмотрения объектов с различным уровнем и характером электропотребления.

Степень влияния внешних факторов на расход электрической энергии можно оценить с использованием элементов корреляционного анализа. По итогам обработки исходных данных о расходе электроэнергии, температуре воздуха, объеме ремонтно-эксплуатационной работы и продолжительности светового дня для каждого исследуемого типового объекта получены нормированные корреляционные матрицы, содержащие коэффициенты корреляции для всех взаимодействующих факторов.

Для нахождения функциональной зависимости между расходом электрической энергии и изменением внешних факторов используются методы регрессионного анализа. При этом в уравнение регрессии не включались факторы, тесно связанные с другими либо имеющие функциональную взаимосвязь (например, продолжительность светового дня для пункта технического обслуживания вагонного депо, тесно связанную с температурой воздуха).

Уравнение регрессии для сварочного отделения локомотивного депо примет вид

$$W = 0,19V' + 67,83. \quad (3)$$

Для тяговой подстанции дистанции электроснабжения

$$W = -881,3t + 15903. \quad (4)$$

Для пункта технического обслуживания вагонного депо

$$W = 12867 + 0,02V' - 282,9t. \quad (5)$$

Для котельной дистанции гражданских сооружений, водоснабжения и водоотведения

$$W = 146,5V' + 20565. \quad (6)$$

Для административного корпуса локомотивного эксплуатационного депо

$$W = -6,95L_{\text{св.дня}} + 19904 . \quad (7)$$

Для железнодорожной станции

$$W = -419,9L_{\text{св.дня}} + 634469 . \quad (8)$$

Выполненный анализ воздействия влияющих факторов на расход электрической энергии по цехам, подразделениям и производственным участкам СП различных хозяйств железных дорог позволяет осуществить классификацию типовых объектов в зависимости от характерных особенностей электропотребления. В общем виде их можно разделить на пять основных групп.

К первой группе относятся типовые объекты, расход электрической энергии которых главным образом зависит от объема выполненной ремонтно-эксплуатационной работы. К таким объектам можно отнести ремонтные цеха локомотивных, моторвагонных, вагонных депо, электромеханических мастерских, пункты технического обслуживания, промывочно-пропарочные станции, котельные, компрессорные, мастерские дистанций пути, сигнализации, централизации и блокировки, ремонтно-ревизионные участки дистанций электроснабжения.

Ко второй группе относятся типовые объекты, расход электрической энергии которых зависит как от объема ремонтно-эксплуатационной работы, так и от температуры окружающего воздуха. К ним можно отнести те объекты из первой группы, в которых в значительной мере используется электроотопление для обогрева помещений.

К третьей группе следует отнести типовые объекты, расход электрической энергии которых в значительной степени зависит от температуры окружающего воздуха. К их числу относятся тяговые подстанции, посты электрической централизации, стрелочные посты, табельные, здания дежурных по станции и другие объекты, в которых для целей отопления используются электрокалориферы. Уровень электропотребления таких объектов имеет ярко выраженную сезонную зависимость.

К четвертой группе относятся типовые объекты, которые не имеют единицы измерения ремонтно-эксплуатационной работы и уровень электропотребления которых в целом является стабильным во времени. В их число входят такие подразделения, как гаражи, склады, душевые и другие объекты, которые не используют для целей отопления электронагревательные приборы. В эту же группу следует такие объекты, как административные здания, дома отдыха локомотивных бригад, реабилитационные центры, объекты коммунально-бытового назначения, объем электропотребления которых имеет слабую зависимость от продолжительности светового дня в связи с наличием осветительной нагрузки.

В пятую, отдельную группу представляется целесообразным выделить наружное освещение территории железнодорожных станций и депо. Расход электрической энергии по таким объектам в значительной мере зависит от продолжительности светового дня.

Таким образом, проведенный анализ влияния внешних факторов на расход электрической энергии показывает необходимость дифференцированного подхода к исследованию особенностей электропотребления типовых объектов в составе каждого СП.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *типовой объект, анализ расхода электроэнергии*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Комяков Александр Анатольевич, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

## **АНАЛИЗ ТОКОВ ДУГИ ПОДПИТКИ В ПАУЗУ ОАПВ В ПРОЦЕССЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА.**

**ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»**

**Т.Г. Красильникова, В.З. Манусов**

**THE ANALYSIS OF SECONDARY ARC CURRENTS IN SPAR PAUSE DURING DYNAMIC TRANSITION**  
 «Novosibirsk state technical university»  
 T.G. Krasilmkova, V.Z. Manusov

Calculation formulas for definition of recovery voltages and secondary arc currents in SPAR during dynamic transition are offered. In a secondary arc current electrostatic and electromagnetic components are separated that simplifies an estimation of efficiency of various measures on decrease in duration of SPAR pause.

Предложены расчетные соотношения для определения восстанавливающихся напряжений и токов дуги подпитки в паузу ОАПВ в процессе динамического перехода. В токе дуги подпитки выделяя-

ются электростатическая и электромагнитная составляющие, что упрощает оценку эффективности различных мер по снижению длительности паузы ОАПВ.

В дальних электропередачах (ЭП) поток отказов в значительной степени определяется авариями на линии в связи с большой ее длиной. При этом в линиях напряжением 500 – 1150 кВ подавляющая доля отключений вызывается однофазными короткими замыканиями [1]. Возникающие на линии неустойчивые однофазные короткие замыкания с точки зрения обеспечения минимальных возмущений на примыкающие системы наиболее эффективно ликвидировать в цикле однофазного автоматического повторного включения (ОАПВ), когда поврежденную фазу линии отключают с двух сторон, а затем через определенное время, так называемую бестоковую паузу, автоматически повторно включают. При эксплуатации ЭП СВН до 60 -70 % однофазных коротких замыканий имеют неустойчивый характер, т.е. могут быть устранены во время бестоковой паузы с последующим восстановлением нормальной схемы. Таким образом, ОАПВ относится к важнейшей мере, повышающей надежность ЭП СВН.

Успешность ликвидации дуговых коротких замыканий в цикле ОАПВ, с одной стороны, определяются характеристикой дуги подпитки, возникающей в длинных воздушных промежутках, а с другой – эффективностью применяемых на линии способов снижения токов подпитки и восстанавливаемых напряжений в месте горения дуги после ее погасания. Осуществление ОАПВ в ЭП переменного тока затрудняется подпиткой места короткого замыкания со стороны неотключенных фаз. Характеристиками, определяющими условия гашения вторичной дуги, являются: ток подпитки, протекающей в дуге до ее гашения; напряжение, восстанавливающееся в месте КЗ после погасания вторичной дуги; скорость восстановления этого напряжения в момент гашения дуги. Длительность горения вторичной дуги зависит и от других факторов, например, от первичного тока КЗ, определяющего предельную длину дуги и степень ионизации ее канала, метеоусловий, влияющих на растягивание и охлаждение дуги, и других факторов, определяющих статистический характер времени горения дуги. По имеющимся данным среднее время горения дуги подпитки в основном зависит от величины установившегося тока дуги подпитки [2]. Согласно опытным данным длительность паузы ОАПВ составляет порядка 1,0-2,5 с, если токи дуги подпитки не превышают 45-85 А (амплитудное значение). При этом величина восстанавливающегося напряжения должна находиться в пределах половины фазного напряжения линии.

С увеличением номинального напряжения, протяженности линии и степени ее загрузки влияние неповрежденных фаз становится все более существенным, исключая возможность успешного самопогасания дуги подпитки при отключении аварийной фазы без применения специальных мер. Чем больше нагрузка линии в исходном нормальном режиме, тем важнее сохранить динамическую устойчивость при ликвидации КЗ на линии. С другой стороны, именно в режимах значительной загрузки линии возникают наиболее неблагоприятные условия с точки зрения гашения дуги подпитки.

Расчетная модель линии при наличии на ней шунтирующих реакторов (ШР) для определения тока дуги подпитки в процессе динамического перехода изображена на рисунке 1.

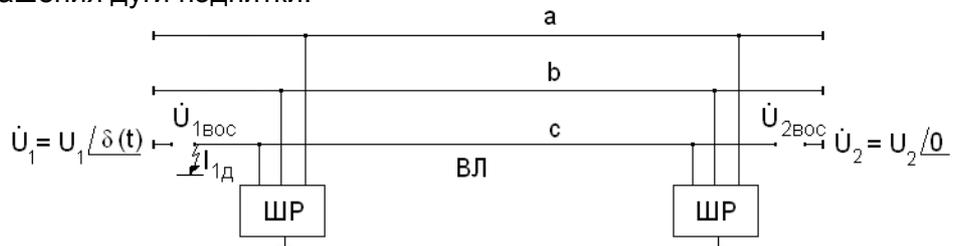


Рисунок 1 – Расчетная схема

Сопrotивления примыкающих систем оказывают незначительное влияние на искомые величины, поэтому системы могут быть представлены э.д.с., которые по модулю равны исходным напряжениям по концам линии. Анализ динамических переходов показывает, что с достаточной степенью точности изменение угла на начальном полупериоде качаний, когда от успешности гашения дуги подпитки зависит дальнейший устойчивый характер динамического перехода, можно представить в следующей форме

$$D(t) = D_0 + (D_{\text{max}} - D_0) \sin p \frac{t}{T},$$

где  $D_0, D_{\max}$  – угловой сдвиг между напряжениями по концам линии соответственно в начале режима качаний и при максимальном отклонении угла;  
 $T$  – длительность полупериода качаний,  $T \approx 1-2$  с.

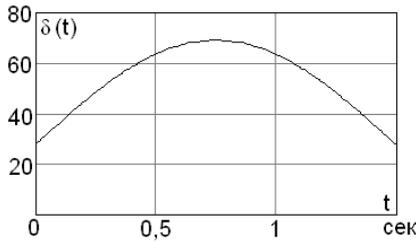


Рисунок 2 – Изменение углового сдвига линии на первом полупериоде режима качаний

При значительной нагрузке линии ее режим близок к режиму натуральной мощности и поэтому можно принять:  $D_0 \approx l, D_{\max} = (2 \div 3)l$ , где  $l$  – электрическая длина линии.

На рисунке 2 показано изменение угла на первом полупериоде качаний для ВЛ длиной 450 км при  $D_{\max} = 2,5l, T = 1,5$  с.

П-образная схема замещения линии в фазных координатах при наличии на ней ШР приведена на рисунке 3.

Соответствующие параметры схемы замещения определяются через вторичные параметры линии по каналам прямой и нулевой последовательности известным образом.

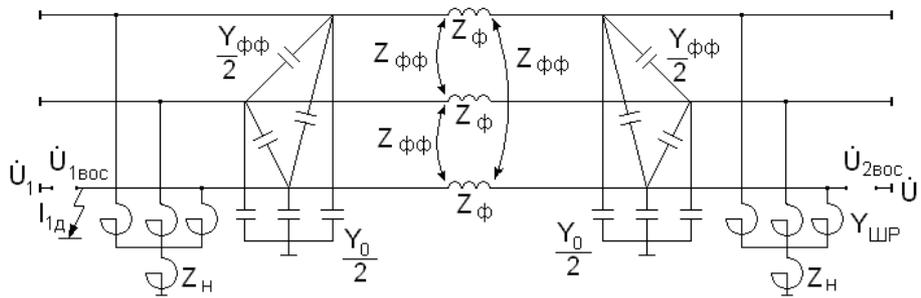


Рисунок 3 – Схема замещения ВЛ в фазных координатах

После несложных преобразований данная схема приводится к виду, показанному на рисунке 4.

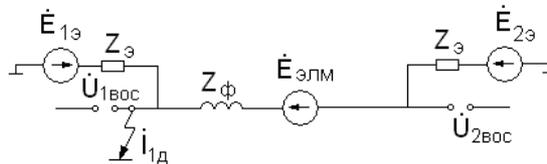


Рисунок 4 – Эквивалентная схема замещения линии с ШР

Параметры эквивалентной схемы замещения составят:

$$\dot{E}_{1э} = -\frac{2Y_{\phi\phi\dot{U}_1}}{2Y_{\phi\phi\dot{U}_1} + Y_{о\dot{U}_1}}; \dot{E}_{2э} = -\frac{2Y_{\phi\phi\dot{U}_2}}{2Y_{\phi\phi\dot{U}_2} + Y_{о\dot{U}_2}}; \dot{E}_{элм} = -\frac{Z_{\phi\phi}(\dot{U}_1 - \dot{U}_2)}{Z_{\phi} + Z_{\phi\phi}}; Z_э = \frac{1}{2Y_{\phi\phi\dot{U}_1} + Y_{о\dot{U}_1}},$$

где

$$Y_{\phi\phi\dot{U}_1} = \frac{Y_{\phi\phi}}{2} + \frac{Y_{ШР}^2 \cdot Z_{н}}{1 + 3Y_{ШР} \cdot Z_{н}}; Y_{о\dot{U}_1} = \frac{Y_0}{2} + \frac{Y_{ШР}}{1 + 3Y_{ШР} \cdot Z_{н}}.$$

По методическим соображениям удобнее сначала найти восстанавливающиеся напряжения на отключенной фазе, после чего на основе теоремы об эквивалентном источнике определить ток дуги подпитки для концевых точек линии, где имеют место наибольшие значения искомых величин. Восстанавливающиеся напряжения по концам линии согласно эквивалентной схеме замещения составят:

$$\dot{U}_{1вос} = \frac{\dot{E}_{1э}(Z_э + Z_{\phi}) + (E_{2э} + E_{элм})Z_э}{Z_{\phi} + 2Z_э}; \dot{U}_{2вос} = \frac{(\dot{E}_{1э} - E_{элм})Z_э + E_{2э}(Z_э + Z_{\phi})}{Z_{\phi} + 2Z_э}.$$

Токи дуги подпитки соответственно найдутся:

$$i_{1д} = \frac{\dot{U}_{1вос}}{Z_{ex}}; i_{2д} = \frac{\dot{U}_{2вос}}{Z_{ex}}; Z_{ex} = \frac{Z_э(Z_{\phi} + Z_э)}{Z_{\phi} + 2Z_э}.$$

При проведении анализа целесообразно выделить две составляющих для восстанавливающихся напряжений и токов дуги подпитки, а именно, электростатическую и электромаг-

нитную. Электростатическая составляющая определяется подпиткой со стороны здоровых фаз через междупазные проводимости и находится из вышеприведенных соотношений при  $E_{э\text{лм}} = 0$ . Электромагнитная составляющая зависит от э.д.с. взаимоиндукции, наведенной в аварийной фазе токами здоровых фаз, и согласно тем же соотношениям находится при  $\dot{E}_{1\alpha} = 0$  и  $\dot{E}_{2\alpha} = 0$ .

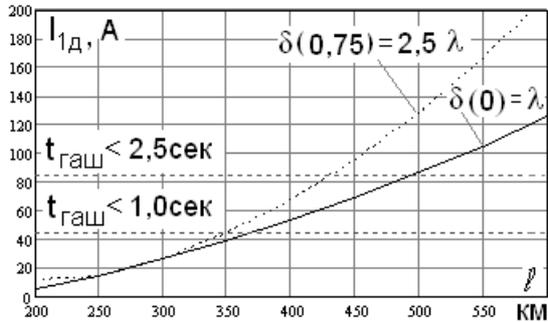


Рисунок 5 – Ток дуги подпитки

На рисунке 5 приведены результаты расчетов токов дуги подпитки для ВЛ напряжением 750 кВ в зависимости от ее длины для случая, когда по концам линии имеется по одному ШР. В нейтраль каждого реактора в паузу ОАПВ включается компенсационный реактор с сопротивлением 180 Ом. На этом же рисунке показан диапазон токов дуги подпитки, при которых обеспечивается гашение дуги в интервале 1,0-2,5 с. В диапазоне длин менее 350 км гарантируется гашение дуги подпитки в пределах 1,0 с. При длинах линии более 350 км требуемая длительность паузы ОАПВ все в большей степени определяется

ся током дуги при максимальном отклонении угла в режиме качаний.

На рисунке 6 приведено изменение полного тока подпитки и его электростатической и электромагнитной составляющей для линии длиной 450 км. Из этого рисунка видно, что в начале режима качаний при  $t = 0$  и  $D = l$  преобладающей является электростатическая составляющая, а при достижении максимального угла качаний определяющей становится электромагнитная составляющая тока дуги подпитки.

При этом необходимо отметить, что включение компенсационного реактора не способствует снижению электромагнитной составляющей, а наоборот приводит к ее увеличению. Обеспечить гашение дуги подпитки при длительности паузы ОАПВ в пределах 1,0 с для ВЛ напряжением 750 кВ при длинах более 350 км можно путем установки двух ШР в каждом из концов линии. Однако это является дорогостоящей мерой, и требуется поиск других менее капиталоемких путей для снижения электромагнитной составляющей тока дуги подпитки в процессе динамического перехода.

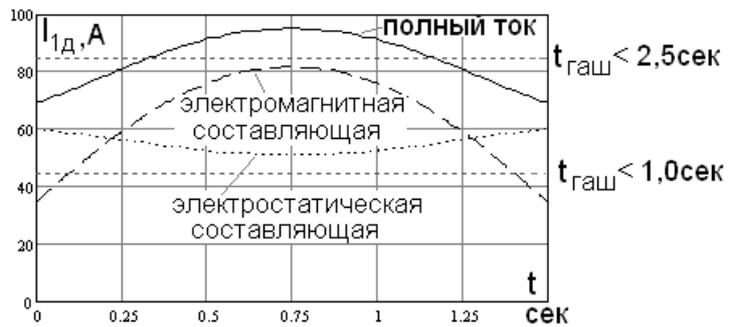


Рисунок 6 – Ток дуги подпитки и его составляющие

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Перспективы применения ОАПВ в электропередаче 1150 кВ / Н.Н. Беляков, В.С. Рашкес, М.Л. Левинштейн, М.И. Хорошев // Электропередачи 1150 кВ. -М., 1992. -Кн.1. -С. 129-158.

2 Проектирование линий электропередачи сверхвысокого напряжения / под ред. Г.Н. Александрова. -Л.: Энергоатомиздат, 1993. -560 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электростатические и электромагнитные компоненты

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Красильникова Татьяна Германовна, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»

Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИВЛЕЧЕНИЯ МАНЕВРЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ ОЭС СИБИРИ В ЕВРОПЕЙСКУЮ СЕКЦИЮ ЕЭС РОССИИ

ОАО «Магистральные электрические сети Сибири»

С.М. Зильберман

THE ESTIMATION OF EFFICIENCY OF ATTRACTION OF MANEUVERABLE POWER FROM IPS OF SIBERIA TO THE EUROPEAN SECTION OF UPS OF RUSSIA

«Main electric networks of Siberia»

S.M. Zilberman

Alternative variants for the decision of a problem of a covering off-peak zone of a load curve in the European section of UPS of Russia, such as a construction off-peak pumped storage HPP in the European section and attraction of superfluous power of HPP of Siberia by means of maneuverable Transmission System from Siberia to the Center are compared.

Сопоставлены альтернативные варианты решения проблемы покрытия полупиковой зоны графика нагрузки в Европейской секции ЕЭС России, такие как сооружение полупиковой ГАЭС в Европейской секции и привлечение избыточных мощностей ГЭС Сибири с помощью маневренной электрической связи Сибирь-Центр.

Европейская секция ЕЭС (ЕЕЭС) России является крупной и динамично развивающейся системой. ЕЕЭС является дефицитной по мощности и электроэнергии. Существует и другая проблема, связанная с недостаточной долей ГЭС в этой энергосистеме, что создает трудности в покрытии переменной части графика нагрузки. Режим электропотребления энергосистемы характеризуется значительной неравномерностью. ГАЭС считаются наиболее эффективным средством покрытия и выравнивания переменной части графика нагрузки, поскольку они позволяют, с одной стороны, заполнять ночной провал нагрузки, работая в насосном режиме, и, с другой стороны, участвовать в покрытии максимума нагрузки.



Рисунок 1 – Выравнивание суточного графика нагрузки энергосистемы за счет полупиковой (ПП) ГАЭС

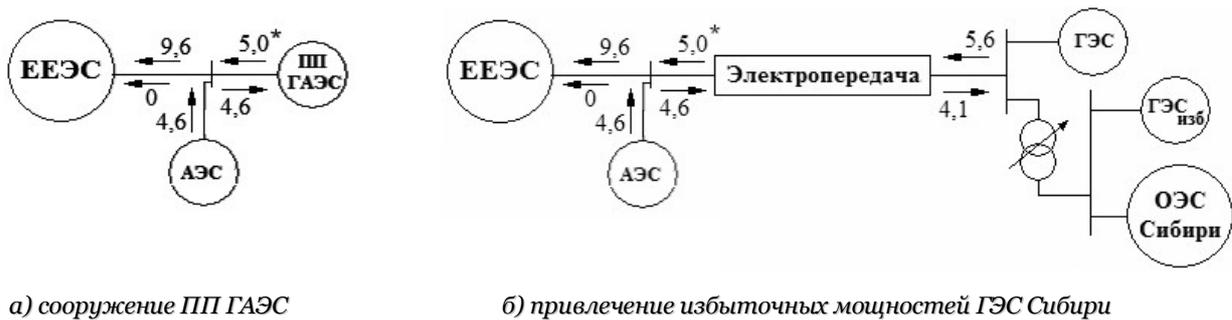
Поэтому в ЕЕЭС планируется [1, 2] сооружение ряда ГАЭС, которые позволяют уплотнить суточный график нагрузки (рисунок 1).

ОЭС Сибири является одной из крупнейших объединенных энергосистем ЕЭС России, её установленная мощность в настоящий период превышает 45 ГВт. При этом почти 50% этой мощности составляют ГЭС. Системообразующая сеть ОЭС Сибири базируется на напряжении 500 кВ.

В последние годы ОЭС Сибири стала дефицитной по электроэнергии. Однако здесь существуют значительные потенциальные возможности по созданию избытков электроэнергии и передаче их в ЕЕЭС. Другой путь повышения эффективности работы ЕЭС России в целом заключается в привлечении неиспользуемых мощностей ГЭС Сибири для решения проблемы маневренных мощностей в ЕЕЭС [3]. Как уже отмечалось выше, суточный режим электропотребления в ЕЕЭС отличается значительной неравномерностью при сравнительно малой доле ГЭС, что делает проблему покрытия переменной части графика нагрузки исключительно острой. Что касается Сибири, то, с одной стороны, её режим электропотребления отличается высокой плотностью суточного графика нагрузки, а с другой стороны, доля ГЭС в структуре генерирующих мощностей очень велика, что обуславливает наличие значительной неиспользуемой мощности ГЭС, достигающей 5-6 ГВт. Часть этих бездействующих мощностей может быть привлечена для покрытия переменной части графика нагрузки в

ЕЕЭС. Таким образом, существует благоприятная долговременная ситуация для создания маневренной электрической связи из Сибири в европейскую часть страны.

На рисунке 2 изображены сравниваемые варианты уплотнения графика нагрузки в ЕЕЭС за счет сооружения полупиковой ГАЭС и путем привлечения избыточных мощностей ГАЭС Сибири с помощью маневренной электрической связи Сибирь-Центр с пропускной способностью 6 ГВт. В качестве пункта примыкания этой ЭП в Сибири наиболее целесообразно принять подстанцию 500 кВ в районе Красноярской ГЭС, поскольку она связана линиями 500 кВ с Братской и Усть-Илимской ГЭС с восточной стороны и Саяно-Шушенской ГЭС с Юга. Таким образом, без усиления существующей сети 500 кВ можно сконцентрировать на Красноярской подстанции порядка 5-6 ГВт маневренных мощностей для передачи их в ЕЕЭС для покрытия максимальных нагрузок, а также получения соответствующей мощности из ЕЕЭС в период там снижения нагрузки, так чтобы в ОЭС Сибири имело место нулевое сальдо по электроэнергии в суточном и годовом разрезе.



а) сооружение ПП ГАЭС

б) привлечение избыточных мощностей ГЭС Сибири

Рисунок 2 – Варианты уплотнения графика нагрузки в ЕЕЭС (\*-потоки мощности, ГВт)

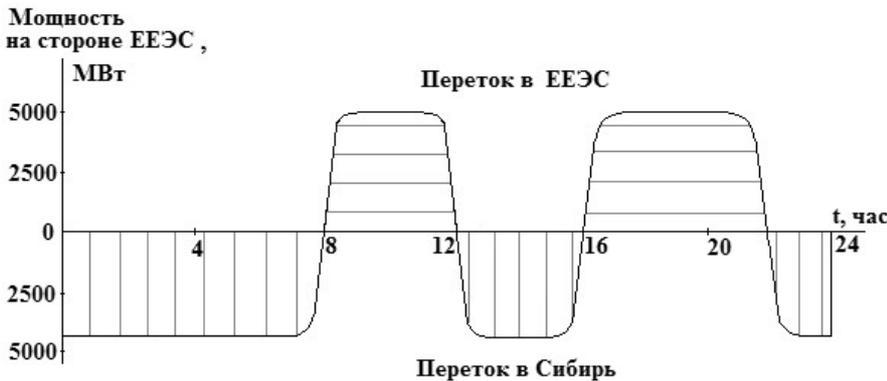


Рисунок 3 – Суточная загрузка электропередачи Сибирь-ЕЕЭС

На рисунке 3 приведена загрузка межсистемной электрической связи в течение суток. В период дневного и вечернего максимумов в ЕЕЭС привлекается мощность ГЭС Сибири. При прохождении дневного и ночного провалов в ЕЕЭС полученная электроэнергия будет возвращаться по этой же связи в ОЭС Сибири, и за счет соответствующей

разгрузки агрегатов ГЭС будет скомпенсирован расход воды, который потребовался для выработки электроэнергии, переданной в ЕЕЭС. Таким образом, между ОЭС Сибири и ЕЕЭС будет иметь место нулевое сальдо по электроэнергии. Это означает, что по отношению к ЕЕЭС маневренная связь выполняет функции ГАЭС путем привлечения неиспользуемых мощностей ГЭС Сибири.

При сопоставительном анализе примем, что рассматриваемые варианты выдают в ЕЕЭС в режиме генерации максимальную мощность  $P_{ген} = 5000$  МВт при ее годовой продолжительности  $T_{ген} = 3500$  ч, что составляет  $\mathcal{E}_{ген} = 17,5$  млрд. кВт ч. При работе ГАЭС в режиме аккумулярования выданная электроэнергия восполняется путем заряда от АЭС

$$\mathcal{E}_{акк} = \mathcal{E}_{ген} / \eta_{ГАЭС},$$

где  $\eta_{ГАЭС}$  – КПД ГАЭС.

Удельные приведенные затраты на кВт·ч полезно выданной в ЕЕЭС электроэнергии применительно к варианту с сооружением ГАЭС, учитывающие режим ее заряда от АЭС, определяются как

$$z_{ГАЭС} = \frac{(E_k + e_{ГАЭС})K_{ГАЭС} + c_{min}\mathcal{E}_{акк}}{\mathcal{E}_{ген}}, \quad (1)$$

где  $E_k$  – коэффициент сравнительной экономической эффективности при норме дискон-

та 0,12 и сроке сооружения объекта за 7 лет, равный  $E_k \approx 0,18$ ;

$e_{ГАЭС}$  – норма отчислений на обслуживание ГАЭС, равная  $e_{ГАЭС} = 0,02$ ;

$K_{ГАЭС}$  – капитальные затраты на сооружение ГАЭС;

$c_{min}$  – стоимость электроэнергии, вырабатываемой в ЕЕЭС в период минимальных нагрузок.  $c_{min} \approx 0,04$  \$/(кВт·ч);

Эффективность варианта на базе ГАЭС существенно зависит от стоимости их сооружения, определяемой установленной мощностью и полезной емкостью бассейна [4]. Невысокий напор ГАЭС, рассматриваемых для сооружения в европейской части страны ( $H \leq 100$  м), предопределяет существенную зависимость удельной стоимости ПП ГАЭС от полезного объема водохранилища. Проведенные оценки показывают, что удельная стоимость полупиковой ГАЭС находится на уровне 1000 \$/кВт.

В альтернативном варианте привлечения избыточных мощностей ГЭС Сибири при нулевом сальдо по электроэнергии на стороне ОЭС Сибири должны выполняться следующие условия:

$$\mathcal{E}_{комп} = \frac{\mathcal{E}_{ген}}{2} ; \mathcal{E}_{ген.сиб} = \frac{\mathcal{E}_{ген}}{\eta_{ЭП}} ; \mathcal{E}_{комп.сиб} = \mathcal{E}_{ген.сиб} ,$$

где  $\mathcal{E}_{комп}$  – электроэнергия, вырабатываемая АЭС в часы минимальных нагрузок для компенсации электроэнергии, полученной из Сибири;

$\eta_{ЭП}$  – КПД электропередачи;

$\mathcal{E}_{ген.сиб}$  – передаваемая электроэнергия в ЕЕЭС на стороне ОЭС Сибири;

$\mathcal{E}_{комп.сиб}$  – компенсируемая электроэнергия из ЕЕЭС на стороне ОЭС Сибири.

Удельные приведенные затраты применительно к варианту привлечения избыточных мощностей ГЭС Сибири с учетом компенсации выданной электроэнергии от АЭС определяются как

$$z_{ЭП} = \frac{E_k K_{ЭП} + e_{вл} K_{вл} + e_{пс} K_{пс} + c_{min} \mathcal{E}_{комп}}{\mathcal{E}_{ген}} , \quad (2)$$

где  $K_{вл}$ ,  $K_{пс}$ ,  $K_{ЭП}$  – капитальные затраты соответственно на сооружение линии, подстанций и электропередачи в целом;

$e_{вл}$  – норма отчислений на обслуживание соответственно линии,  $e_{вл} = 0,008$ ;

$e_{пс}$  – норма отчислений на обслуживание соответственно линии и подстанций.  $e_{пс} = 0,049$ .

В качестве маневренной электропередачи Сибирь-Центр рассматривается наиболее перспективный вариант на переменном токе напряжением 1150 кВ, базирующийся на полуволновой технологии передачи электроэнергии [3]. При длине электрической связи 3000 км стоимость соответствующих структурных элементов полуволновой электропередачи составит:

$$K_{вл} = 1800 \text{ млн. \$}; K_{пс} = 350 \text{ млн. \$}, K_{ЭП} = 2150 \text{ млн. \$}.$$

*Таблица – Сопоставление вариантов выравнивания и покрытия переменной части графика нагрузки в ЕЕЭС*

Показатели	Сооружение ГАЭС в ЕЕЭС	Привлечение избыточных мощностей ГЭС Сибири
Полезная мощность в режиме генерации, ГВт	5,0	5,0
Годовая продолжительность работы в режиме генерации, ч	3500	3500
Мощность АЭС, используемая в режиме аккумулярования или компенсации, ГВт	4,6	4,6
КПД	0,75	0,8*
Капиталовложения, млн. \$	5250	2150
Удельные приведенные затраты на выработку полупиковой электроэнергии, \$/(кВт·ч)	0,113	0,074

\*-суммарный КПД полуволновой электропередачи в прямом и обратном направлении

В таблице приведены результаты сравнения рассмотренных выше вариантов. Как следует из таблицы, сооружение маневренной полуволновой связи с полезно передаваемой

мощностью 5 ГВт позволяет отказаться от сооружения ГАЭС на такую же мощность и снизить инвестиции более чем на 3 млрд. \$ при решении проблемы маневренных мощностей в ЕЕЭС. Удельные приведенные затраты на кВт·ч полезно выданной в ЕЕЭС полупиковой электроэнергии в случае привлечения избыточных мощностей ГЭС.

Сибири оказываются в полтора раза меньше, чем в варианте сооружения полупиковых ГАЭС в ЕЕЭС. Учитывая, что дефицит маневренных мощностей в ЕЕЭС будет нарастать быстро в связи с принятой программой ускоренного строительства АЭС, значительные капиталовложения и длительные сроки сооружения ГАЭС будут усложнять решение обозначенной проблемы. В то же время создание маневренной электрической связи из Сибири в ЕЕЭС для привлечения неиспользуемых мощностей ГЭС Сибири облегчает решение этой проблемы, позволяя отказаться от сооружения части планируемых ГАЭС в ЕЕЭС.

Создание маневренной полуволновой электропередачи также будет иметь огромное значение для повышения энергетической безопасности электроснабжения Сибири в случае наступления катастрофического маловодья на Енисее и Ангаре [5].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Разин, Н.В. Комплексное использование гидроэнергетических ресурсов: перспективы развития ГЭС и ГАЭС / Н.В. Разин, Т.П. Доценко, Л.П. Михайлов // Современные проблемы энергетики: сб.ст. / под ред. Д.Г. Жимерина. -М., 1984. -С. 121-145.

2 Волков, Э.П. Перспективы развития электроэнергетики России в период до 2030 / Э.П. Волков, В.А. Баринов // Изв. Рос. акад. наук. Энергетика. -2008. -№1.-С. 18-32.

3 Зильберман, С.М. Использование полуволновой технологии передачи электроэнергии для управления режимами энергообъединения Сибирь-Урал / С.М. Зильберман, Г.И. Самородов // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Технологии управления режимами энергосистем 21 века», 29-30 сент. 2006 г., -Новосибирск.

4 Бабурин, Б.Л. методические основы энергоэкономического обоснования параметров ГАЭС / Б.Л. Бабурин // Сб. научн. тр. Гидропроекта. -1986. -№112.

5 Воропай, Н.И. Роль ОЭС Сибири в обеспечении надежности ЕЭС России и электроэнергетической безопасности страны / Н.И. Воропай, Г.Ф. Ковалев, В.А. Савельев // ОЭС Сибири: современное состояние и перспективы развития: материалы конф. / СибНИИЭ. -Новосибирск, 1996. -Ч.2. -С. 3-8.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* привлечение избыточной мощности, дальние электропередачи

*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* Зильберман Самуил Моисеевич, канд. техн. наук, генеральный директор ОАО «МЭС Сибири»

*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:* 660099, г. Красноярск, ул. А.Лебедевой, 117, ОАО «МЭС Сибири»

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОНАГРЕВА НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

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

**Н.А. Духновский, Я.Ю. Кензап, В.Е. Крышталёв,  
К.С. Мочалин, П.С. Павленко, А.А. Хоменчук**

### **APPLICATION OF ELECTROHEATING ON AGRICULTURAL OBJECTS**

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

**A.N. Duhnovsky, Ya.U. Kenzap, V.E. Kryshtalev, K.S. Mochalin, P.S. Pavlenko, A.A. Homenchuk**

The article covers the issues of configuration of hothouses with a covering from «Polycarbonate» and electroheating by means of betel heaters and heating wires.

Рассмотрены вопросы компоновки теплиц с покрытием из «поликарбоната» и электронагревом с помощью бетэловых нагревателей и нагревательных проводов.

Несмотря на объективные трудности расширяется область применения электронагрева на агропромышленных объектах. В Российской Федерации усиленно развивается фермерское движение и приобретение гражданами страны дачных участков. Не исключением этого является и Новосибирская область, где каждая третья семья имеет либо огород, либо земельный участок для выращивания овощных, фруктовых и других культурных растений. Как правило, обязательным сооружением на них является одна или несколько весенних пленочных (стеклянных) теплиц небольшой площади как на естественном (солнечном), так и искус-

ственном обогреве. В качестве теплоносителя в теплицах применяют горячую воду, нагретый воздух и электроэнергию. Конструкция теплицы с покрытием из «поликарбоната» приведена на рисунке 1.

Наряду с обогревом воздуха в культивационных сооружениях широко применяют, особенно в северных широтах, обогрев почвы. В некоторых областях России и государствах ближнего зарубежья для обогрева почвы применяют греющие кабели отечественного производства. К ним относится, например, кабель типа ПНВСВ-0,6, который успешно применяется для обогрева почвы и индивидуальных теплиц дачных участков и приусадебных хозяйств.

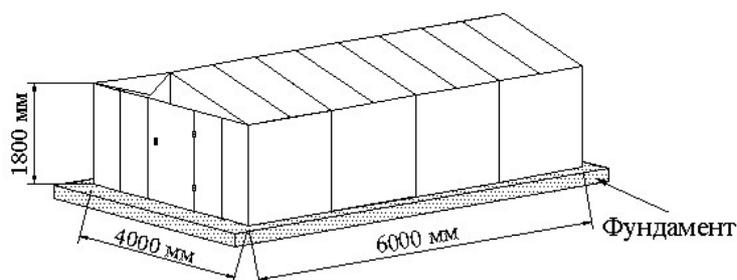


Рисунок 1 – Общий вид экспериментальной теплицы с покрытием из «поликарбоната»

Источником теплоты в кабельной системе обогрева является тепловая энергия исходящая от уложенного в массив почвы греющего кабеля, который превращает почву в большую поверхность, равномерно излучающую тепловую энергию. Работа надежно изолированного кабеля может также управляться автоматическим регулятором, поддерживающим заданную температуру в сооружении. Применение отечественных материалов и приборов дает большое преимущество таких систем по сравнению с импортными системами – меньшую стоимость.

Некоторые технические данные кабеля типа ПНВСВ-0,6, рекомендуемые для стандартной теплицы с размерами представленными на рисунке 1: диаметр жилы 0,6 мм; длина 66 м; напряжение 220 В; сила тока 4,5 А; мощность 1,0 кВт. Кабель имеет два слоя полиэтиленовой изоляции. Установленная мощность нагревательных элементов для обогрева почвы весенних индивидуальных теплиц составляет 50-60 Вт/м<sup>2</sup>, а это значит, что для теплицы площадью 20 м<sup>2</sup> достаточно одного нагревательного элемента мощностью 1 кВт (50 Вт/м<sup>2</sup>).

Во время монтажа греющего кабеля в теплице требуется вырыть котлован глубиной 350-400 мм, дно которого выравнивают и утрамбовывают, затем насыпают слой песка толщиной 50 мм. У торцевых стенок котлована вбивают деревянные колышки диаметром не менее 50 мм или укладывают деревянные шаблоны с прорезями через 100–200 мм. Деревянные шаблоны закрепляют клиньями во избежание смещения их при раскладке нагревательного кабеля.

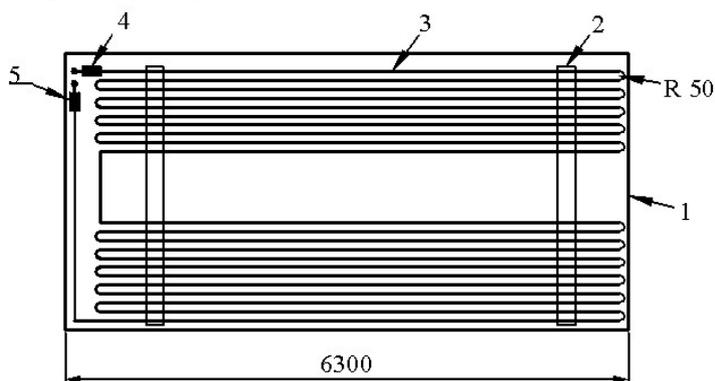


Рисунок 2 – Схема укладки в теплице нагревательного провода типа ПНВСВ-0,6: 1-контур теплицы; 2-деревянные шаблоны; 3-нагревательный провод; 4-соединение; 5-соединительный провод

Нити греющего кабеля не должны соприкасаться и находиться на расстоянии более 50 мм друг от друга. Они должны проходить прямолинейно от одного шаблона к другому, а радиус изгиба кабеля при монтаже составляет не менее 50 мм. Смонтированный кабель засыпают песком толщиной 50 мм или заливают цементным раствором толщиной 30 мм. Место пайки греющего кабеля и соединительного провода должно находиться под слоем песка или в цементной стяжке на одном уровне с нагревательным кабелем. Поверх песчаной засыпки или цементной стяжки насыпают слой питательной почвы. Схема укладки на-

гревательного кабеля показана на рисунке 2.

Провод изготавливается в климатическом исполнении УХЛ категории размещения 3.

Токопроводящие жилы нагревательного провода выполнены из углеродной нити «Урал-Н». Изоляция для ПУФ – фторопласт 2М, а для ПУФС – двойной слой стекловолокна и слой фторопласта 2М. Строительная длина проводов кратна 8 м (таблица).

Таблица – Типы нагревательных проводов

Марка	Сопротивление жилы, Ом	Количество жил	Максимальный диаметр, мм	Масса, кг/км
ПУФ	120	1	1,7	4,0
ПУФС	120	1	1,7	3,4

Электрическое сопротивление изоляции, пересчитанное на длину 1 м при температуре 20 °С – 100 МОм. Провод не распространяет горение, выдерживает температуру +120 °С. Ресурс провода, выраженного в стойкости к знакопеременным деформациям изгиба – 25000 циклов. Минимальная наработка провода 3000 ч. Срок службы проводов 8 лет.

Рабочий диапазон нагревательных проводов от +30 °С до +1200 °С. Широкая гамма нагревательных проводов (более 20 марок) позволяет решать любые задачи по нагреву различных объектов во многих отраслях промышленности: нефтепереработке, в строительстве, химической и фармацевтической промышленности, легкой и пищевой промышленности.

Нагревательные провода – хорошее решение для подогрева трубопроводов любой длины, резервуаров, бункеров, печей обжига. Они могут применяться в нагревательных элементах литейных машин, экструдеров и термопластавтоматов. Их применяются для промышленных и бытовых нагревательных устройств, работающих при воздействии агрессивных сред и высокой влажности.

Существует математическая модель процесса обогрева почвы теплиц на основе теории энергомассообмена [1-4]. Достигается возможность расчёта потоков энергий и массы в почве и на ее поверхности культивационного сооружения и получения взаимных зависимостей между ними и задающими параметрами. Процесс обогрева почвы можно описать с помощью уравнения [4, 5]

$$Q_n + Q_{ak} + Q_{kn} + k_n (Q_{n0} + Q_{nn}) + Q_u = 0,$$

где  $Q_n, Q_{ak}$  – энергетические потоки от подсистемы обогрева субстрата (почвы) и аккумулярованной почвой теплоты (от солнечной энергии и подсистемы обогрева воздуха), Вт/м<sup>2</sup>;

$Q_{kn}$  – конвективный поток тепловой энергии на поверхности почвы, Вт/м<sup>2</sup>;

$Q_{n0}, Q_{nn}$  – потоки лучистой энергии между поверхностями: почвы и ограждения, нагревателей воздуха и почвы, Вт/м<sup>2</sup>;

$Q_u$  – энергетический поток на испарение влаги, Вт/м<sup>2</sup>;

$k_n$  – коэффициент, учитывающий поглощение длинноволнового излучения трехатомными газами, находящимися в объеме сооружения, принимаемый для теплиц равным 0,88.

Для поддержания нужной температуры внутри экспериментальной теплицы (см. рисунок 1) были применены электронагревательные панели с элементами из резистивных композиционных материалов (РКМ) – бетэла [6]. Часть нагревательных панелей были расположены по всему периметру теплицы, а часть прямо на грунте по центру теплицы.

Нагревательные элементы из резистивных композиционных материалов на основе силикатных и полимерных связей являются комплектующими изделиями стеновых и напольных панелей различных габаритов и назначения. Для снижения стоимости нагревательного элемента (НЭ), в качестве электропроводной фазы таких изделий целесообразно использование отходов электродов Новосибирского электродного завода и технического углерода различных типов. Поскольку для напольных панелей животноводческих помещений, парников и теплиц важным фактором является их электрическая и тепловая изоляция от подстилающего слоя пола, то в связи с этим был выполнен комплекс исследований по разработке композиций, обладающих высоким удельным сопротивлением и малым коэффициентом линейного расширения [6]. Как отмечалось, при проведении подобных исследований решается и экологическая задача по утилизации материалов. Возможно, также, одновременное использование электропроводного пола в качестве протяжённого электронагревателя в жилых и производственных помещениях.

Условия работы НЭ из РКМ в электрических схемах предусматривают импульсный, кратковременный и длительный (более трёх секунд) режимы. В последнем случае необходимо резко увеличить теплоотдающую поверхность НЭ [6]. Мощность электронагревателя определяется условием баланса тепловой энергии рассеиваемой в материале и отдаваемой в окружающую среду. Рассмотрение ведётся в диапазоне температур от 220 до 470 К, не

вызывающих необратимые изменения нагревательного элемента. К внутренним факторам, влияющим на мощность композиционных НЭ, относятся теплофизические, электрические и механические параметры изделий, определяемые в основном экспериментальным путём. Мощность зависит также и от ряда внешних факторов: конфигурации изделия, т.е. соотношения между теплоотдающей поверхностью и объёмом НЭ; вертикального или горизонтального расположения; условий внешней среды (скорость и форма движения теплоносителя, температура).

Особенности электронагревательных устройств (ЭНУ) с поверхностно-распределённым тепловыделением связаны с решением важных энергетических задач, например, для обогрева производственных и жилых зданий, железнодорожных вагонов, судов, бытовок строителей, передвижных домиков, животноводческих ферм, теплиц и др.

Для быстрого роста растений требуемая температура внутри теплицы хоть и является одним из основных факторов, но без достаточного освещения внутри теплицы максимально-плодотворного эффекта добиться вряд ли возможно.

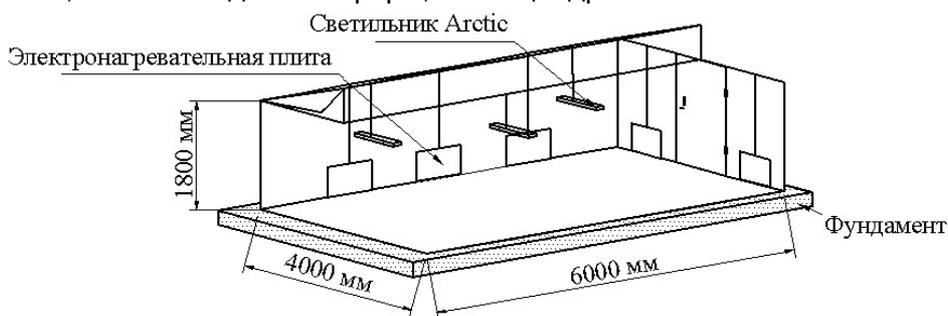


Рисунок 3 – Расположение нагревательных плит и светильников в теплице

В качестве источников освещения в теплице были применены светильники марки ARCTIC с металлогалогенными лампами мощностью 18 Вт для растений. Расположение нагревательных плит и светильников представлена на рисунке 3.

Для учёта и управления мощностью НЭ разработан и смонтирован шкаф управления и учёта электрической энергии, принципиальная схема которого приведена на рисунке 4.

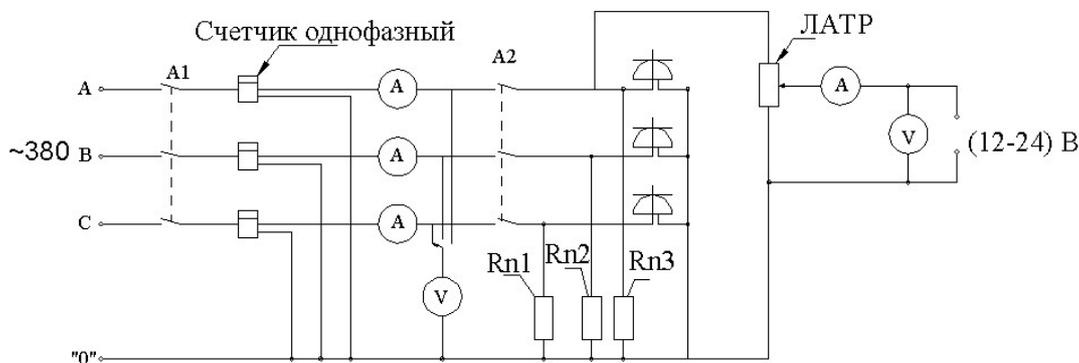


Рисунок 4 – Принципиальная схема шкафа управления и учета: Rn1 -бетэловые нагревательные плиты; Rn2 -провод нагревательный, типа ПОСХВ; Rn3 -нагревательный кабель типа ПНВСВ

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кутателадзе, С.С. Справочник по теплопередаче / С.С. Кутателадзе, В.М. Боришанский. -Л.; М.: Госэнергоиздат, 1958. -414 с.
- 2 Лыков, А.В. Теория переноса энергии и вещества / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. -Минск: Изд-во Акад. наук БССР, 1959. -330 с.
- 3 Куртнер, Д.А. Расчёт и регулирование теплового режима в открытом и защищенном грунте / Д.А. Куртнер, А.Ф. Чудновский. -Л.: Гидрометеиздат, 1969. -299 с.
- 4 Иванов, Г.Я. Повышение эффективности эксплуатации светонепроницаемой теплицы в регулируемых условиях / Г.Я. Иванов, Ю.А. Пенкин, В.Г. Угрюмов // Механизация и автоматизация производства овощей и корнеклубнеплодов в Сибири: сб. науч. тр. / ВАСХНИЛ, Сиб. отд-ние, СибИМЭ. -Новосибирск, 1988. -С. 27-37.
- 5 Повышение эффективности выращивания овощей на агрегатопоникуме в режиме ис-

кусственного облучения / Г.Я. Иванов [и др.] // Актуальные проблемы повышения технического уровня сельскохозяйственных машин: сб. тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. -М., 1986. -С. 98-99.

6 Резисторы в схемах электротеплоснабжения / С.В. Горелов [и др.]; под ред. В.П. Горелова, Н.В. Цугленка. -2-е изд. перераб. и доп. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2008. -424 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** поликарбанат, бетэл, греющий кабель, приборы учета

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Духновский Николай Анатольевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Кензап Ян Юрьевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Крышталёв Вячеслав Евгеньевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Мочалин Константин Сергеевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Павленко Павел Сергеевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Хоменчук Александр Алексеевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина,33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## **БАЛАНСИРОВКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОЕЗДОК**

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

**Е.А. Сидорова, С.П. Железняк, В.В. Искрин**

**BALANCING OF INDICATORS IN LOCOMOTIVES USE, WITH AUTOMATED PROCESSING OF TRIPS RESULTS**

«Omsk state transport university»

E.A. Sidorova, S.P. Zheleznyak, V.V. Iskrin

This article deals with an algorithm for correction the elements of an indicators matrix used in a locomotive engineer's route in order to ensure their adequacy to corresponding integral parameters. Major words: Algorithm, route machinist, locomotive budget, balancing, rounding error.

Разработан алгоритм корректировки элементов матрицы показателей маршрута машиниста с целью обеспечения их адекватности соответствующим интегральным параметрам.

Важнейшим технологическим процессом сбора, обработки и хранения информации о работе локомотивного хозяйства железнодорожного транспорта является интегрированная обработка маршрутов машинистов (ИОММ), выполняемая с помощью специализированных автоматизированных систем. Задача ИОММ является очень сложной и многоплановой. Она содержит в себе большое количество взаимосвязанных разделов, от успешной реализации которых зависит оперативность и достоверность функционирования всей системы.

Один из ключевых и наиболее трудно автоматизируемых процессов обработки маршрута машиниста (ММ) представляет собой так называемая таксировка, составной частью которой является определение продолжительности работы и простоя тягового подвижного состава и локомотивных бригад по различным направлениям их использования. Согласно нормативным документам ОАО «РЖД» учет локомотиво-часов осуществляется по следующим элементам:

- фактическое время в пути, включая простои и маневры на промежуточных станциях;
- простоя на промежуточных станциях;
- простоя на станционных путях депо приписки;
- полный простой в оборотном депо при заходе в депо и простоя на станционных путях оборотного депо;
- простоя локомотива на станции при смене локомотивных бригад (исключая станции их оборота);
- маневры на промежуточных станциях;
- маневры на станциях оборота;
- маневры на станциях приписки;
- чистое время хода (без учета простоев и маневров на промежуточных станциях).

Все перечисленные показатели имеют очень важное значение, поскольку они не только сами по себе фигурируют в статистической отчетности и используются в аналитической работе, но и являются основой для расчета других характеристик перевозочного процесса (среднесуточной производительности и условного пробега локомотивов, технической и участковой скорости движения и т.д.), а также норм рабочего времени локомотивных бригад и отдельных составляющих норм расхода топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов.

В зависимости от конкретной задачи в железнодорожной статистике отчетность форми-

руется по двум направлениям. Показатели, характеризующие процесс перевозок по родам работы и обслуживаемым поездо-участкам, рассчитываются на основе выборки соответствующих таксировочных строк ММ, а при составлении отчетности об энергопотреблении на тягу итоговые показатели формируются по маршруту в целом. По установленному в ОАО «РЖД» порядку все показатели времени работы и простоя локомотивов в ММ записываются в часах и минутах, а в отчетах приводятся в часах с различной точностью. Использование разных критериев систематизации информации приводит к расхождению итоговых значений одних и тех же показателей в отчетных формах, полученных разными способами, вследствие многократных преобразований единиц измерения. Особенно ярко это проявляется в учете бюджета времени использования локомотива – одного из основных показателей эксплуатационной работы. В целом по маршруту машиниста бюджет локомотива определяется следующим образом

$$t_{лок} = t_k - t_n, \quad (1)$$

где  $t_n, t_k$  – учетные моменты соответственно начала и окончания использования локомотива.

По таксировочному разделу ММ бюджет рассчитывается по формуле

$$t_{макс} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^9 t_{ij}, \quad (2)$$

где  $n$  – количество таксировочных строк в ММ;

$i$  – порядковый номер таксировочной строки;

$j$  – порядковый номер элемента учета локомотиво-часов;

$t_{ij}$  – таксировочное время  $j$ -го элемента в  $i$ -той строке матрицы показателей времени.

Исходя из требования сходимости одноименных параметров, на любом уровне систематизации данных должно выполняться равенство

$$t_{лок} = t_{макс}. \quad (3)$$

Если при автоматизированной обработке ММ при расчете бюджета по формуле (2) все времена округлять по общепринятым правилам математики, то при определенной комбинации округляемых значений возможны случаи, когда сумма округленных времен по элементам учета бюджета не будет равна его общей величине, рассчитанной по формуле (1). Это наглядно продемонстрировано в таблице на примере реальных данных, где всего по трем строкам ММ за счет округления по стандартным математическим правилам формируется погрешность учета общего бюджета времени локомотива в размере 7,1% (в графе 10 таблицы бюджет равен 3,0 ч вместо 2,8 ч). В рассмотренном случае погрешность возникла и в учете времени работы локомотива, и в учете времени простоя. Это, в свою очередь, скажется на точности расчета производных показателей при составлении отчетности и планировании работы.

Размер погрешности округления непредсказуем и зависит только от количества и комбинации исходных данных. Например, в локомотивном депо Новокузнецк при обработке ММ по программе Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта погрешность учета бюджета за счет округлений составляла до двух тысяч локомотиво-часов в месяц, то есть фактически работа трех локомотивов оказывалась неучтенной.

*Таблица – Пример округления показателей времени при таксировке маршрута машиниста*

Строка	Время прибытия, ч . мин.	Время отправления, ч . мин.	Продолжительность простоя			Время в движении			Общее время в пути, ч	
			ч . мин	в часах		ч . мин.	в часах		МО	ТО
				МО	ТО		МО	ТО		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Станция 1	10.15	10.30	0.15	0,3	0,2	0.35	0,6	0,6	0,9	0,8
Станция 2	11.05	11.15	0.10	0,2	0,2	1.45	1,8	1,7	2,0	1,9
Станция 3	13.00	13.05	0.05	0,1	0,1	–	–	–	0,1	0,1
Сумма по строкам	–	–	0.30	0,6	0,5	2.20	2,4	2,3	3,0	2,8
В целом по ММ	10.15	13.05	0.30	0,5	0,5	2.20	2,3	2,3	2,8	2,8

МО-стандартное математическое округление; ТО-таксировочное округление

Наличие такой погрешности является абсолютно недопустимым. Одним из способов,

позволяющих частично уменьшить суммарную погрешность округлений, является применение принципа так называемого «бухгалтерского» округления, предусматривающего чередование четных и нечетных чисел по границе округления. Такой подход повышает точность накопительных статистических расчетов при значительном количестве выполняемых операций. Но, учитывая специфику показателей времени на железнодорожном транспорте (их множественный характер, повторяемость нормативов, сложность и неоднозначность стыковок времен при совершении событий, необходимость учета смены суток и перехода на зимнее/летнее время, несовпадение отчетной и календарной дат и т.д.), применение принципа «бухгалтерского» округления при обработке ММ не обеспечит необходимой точности расчетов, а при определенном стечении обстоятельств может даже ухудшить ситуацию. Повышение точности представления чисел позволяет лишь снизить остроту проблемы, но решить ее кардинально не может.

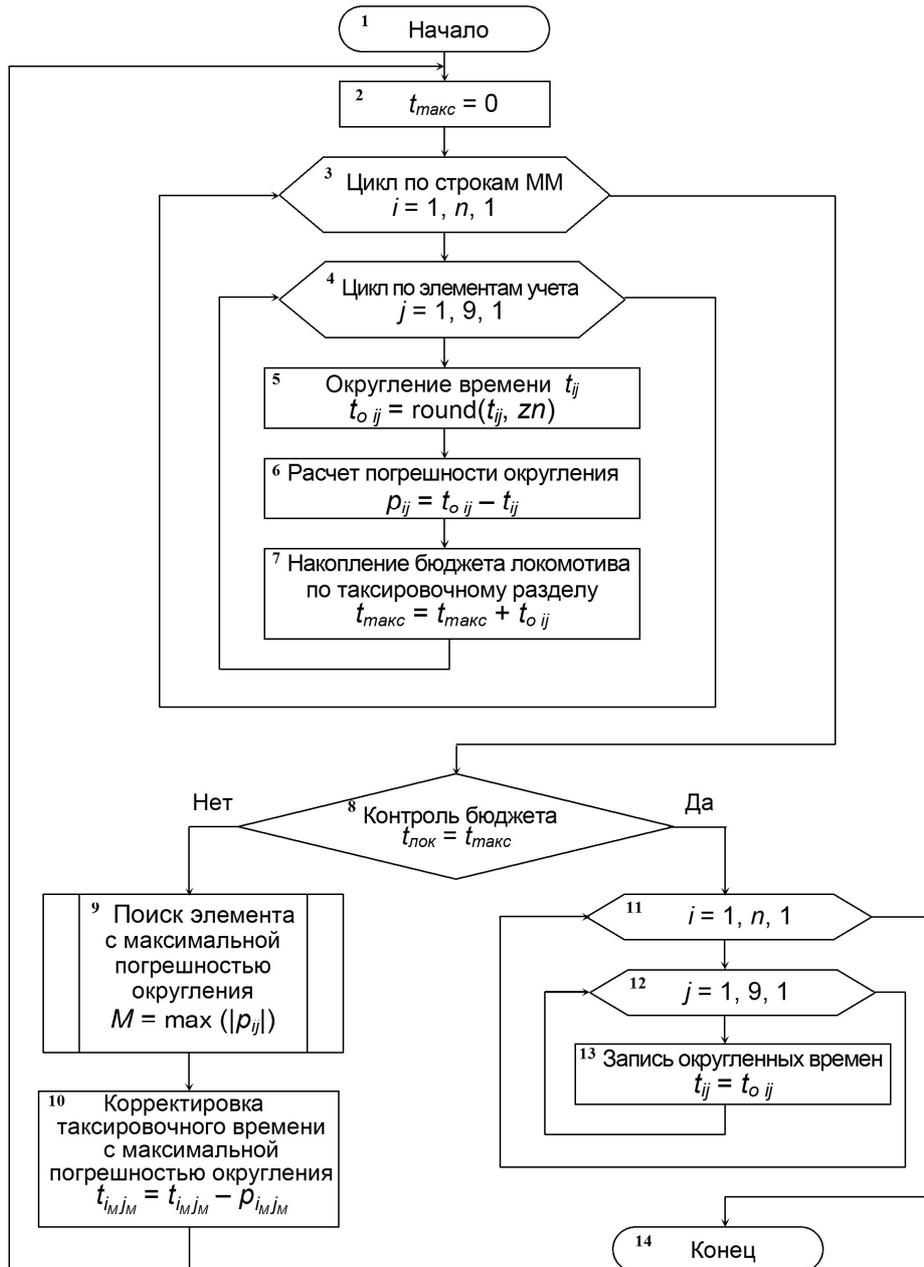


Рисунок – Графическая схема алгоритма балансировки показателей использования локомотивов

Функционирующая на Западно-Сибирской железной дороге система ИОММ для компенсации погрешности округлений на этапе составления отчетности предполагает принудительное перераспределение (балансировку) итогов на каждом уровне систематизации данных, в том числе по структурным подразделениям дороги, с целью их соответствия показа-

телям вышестоящего уровня. Это приводит к таким негативным последствиям, как вынужденная фиксация отчетных форм за прошлые периоды без возможности их пересчета даже в случае выявления ошибок в исходных данных, расхождение значений одних и тех же показателей в разных отчетах, жесткие ограничения варьирования анализируемого периода и системных установок отчетов, увеличение машинного времени и др.

Исследования, выполненные на кафедре «Прикладная математика и механика» ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения», показали, что для исключения указанной проблемы расчет показателей в установленных учетных единицах и их балансировку следует выполнять на стадии ввода и первичной обработки маршрута машиниста с записью и хранением этих результатов в таблицах системы ИОММ. Это обеспечит полное отсутствие расхождений в отчетных документах и существенно увеличит быстродействие их получения.

Для решения этой задачи разработан алгоритм балансировки элементов матрицы показателей использования локомотивов с точностью до десятичных знаков, основанный на циклическом поиске максимальной погрешности округления и изменении знака округления на противоположный при несоответствии суммы округленных значений элементов интегральному параметру. При наличии нескольких одинаковых максимальных значений погрешности корректировка выполняется для наибольшего по абсолютному значению элемента  $t_{ij}$ , поскольку относительная величина погрешности расчета соответствующего показателя при этом будет минимальной. Такой алгоритм балансировки времен полностью исключает расхождение бюджета локомотива в целом по ММ и с раскладкой по элементам учета (см. графу 11 таблицы). Упрощенная графическая схема предложенного алгоритма представлена на рисунке.

Подобный подход может быть использован для балансировки элементов матрицы любых показателей. Авторы статьи применили его и при создании автоматизированной информационной системы статистического анализа энергозатрат на тягу поездов (АИС САЭТ), внедренной на Западно-Сибирской железной дороге. Источником информации для нее является система ИОММ, в базах данных которой начисленная норма расхода энергии за поездку и ее составляющие имеют разную точность представления, что вызывает определенные затруднения при их детальном сравнительном анализе и получении отчетов по разным направлениям. Опыт функционирования АИС САЭТ и других разработок авторов подтвердил высокую работоспособность и эффективность предложенного алгоритма балансировки показателей.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** алгоритм, маршрут машиниста, бюджет локомотива, погрешность округления  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Сидорова Елена Анатольевна, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Омский ГУПС»  
 Железняк Светлана Петровна, преподаватель ГОУ ВПО «Омский ГУПС»  
 Искрин Виталий Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ ТОКОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ 0,4 кВ**

Обь-Иртышский филиал ФГУ «Российский Речной Регистр»  
 ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
 Омский институт водного транспорта филиал ФГОУ ВПО  
 «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**М.Г. Вишнягов, А.А. Левченко, Е.В. Иванова, В.И. Клеутин,  
 О.А. Малаенко, А.А. Руппель, И.Н. Дмитриев**

**HIGH HARMONICS OF ELECTRIC CURRENT TO INFLUENCE INTO ELECTRICITY SUPPLIES 0,4 kV**  
 Ob-Irtysh branch «Russian River Register»  
 «Novosibirsk state academy of water transport»  
 Omsk institute of water transport branch «Novosibirsk state academy of water transport»  
 M.G. Vishnjagov, A.A. Levchenko, E.V. Ivanova, V.I. Kleutin, O.A. Malaenko, A.A. Ruppel', I.N. Dmitriev

This article about high harmonics of electric current in electricity supplies 0,4 kV. We are research of possible influence current to cable lines, electro equipments, transformers and other. You can to see result our research in graph.

Проведен анализ электромагнитной обстановки на предприятиях водного транспорта и нефтехимической отрасли. Выполнен анализ возможных путей передачи электромагнитных помех через сеть общего пользования на эти предприятия. Рассмотрены основные направления исследования помехоустойчивости электрических сетей.

Увеличение в сети 0,4 кВ доли нелинейных электропотребителей приводит к возникновению высших гармоник в токах электропотребителей, что в свою очередь создает технически опасные условия работы сети электроснабжения, при которых:

- значительно возрастает вероятность перегрева и разрушения нулевых рабочих проводников кабельных линий;
- резко увеличиваются потери энергии в трансформаторах и электродвигателях вследствие отклонения уровня напряжения и появления высших гармоник в напряжении питающей сети;
- произвольно срабатывают предохранители и автоматические выключатели вследствие их внутреннего дополнительного нагрева;
- ускоряется износ, происходит преждевременное разрушение конденсаторов в установках компенсации реактивной мощности;
- наводятся помехи в кабелях телекоммуникаций.

При превышении 15% общей мощности нелинейных электропотребителей появляются различные проблемы в эксплуатации электрооборудования [1,2].

*Перегрев и разрушение нулевых рабочих проводников кабельных линий из-за их перегрузки токами третьей гармоники.* При значительном превосходстве токов в нулевых рабочих проводниках токов фазных проводников происходит перегрев и разрушение нулевых рабочих проводников и ускоренное старение изоляции, потому что защита от токовых перегрузок в цепях нулевых проводников не предусмотрена (п.1.3.10 ПУЭ (правила устройства электроустановок)). До недавнего времени системы электроснабжения проектировались только под линейную нагрузку (50 Гц). Следовательно, ток в нулевом рабочем проводнике не мог превосходить ток в наиболее нагруженной фазе, то есть защита на фазных проводниках одновременно защищала от перегрева и нулевой рабочий проводник. Поэтому при определении длительно допустимых токов по условиям нагрева проводов и кабелей, нулевой рабочий проводник четырехпроводной системы трехфазного тока, заземляющие и нулевые защитные проводники в расчет не принимались (п.3.1.10 ПУЭ). При наличии в сети высших гармоник порядка, кратного трем, ток в нейтральном проводе будет равен утроенной сумме токов этих гармоник. Таким образом, при несинусоидальной симметричной нагрузке ток в нулевом рабочем проводнике будет равен:

$$I_n = 3\sqrt{I_3^2 + I_9^2 + I_{15}^2 + \dots},$$

где  $I_3, I_9, I_{15}$  – действующие значения соответствующих гармоник тока.

При наличии нелинейных нагрузок ток в нулевом рабочем проводнике может превышать ток в фазе предельно – в 1,73 раза, когда ширина импульса тока равна 60 электрическим градусам [5].

*Сокращение срока службы электрооборудования из-за интенсификации теплового и электрического старения изоляции.* При рабочих температурах в изоляционных материалах протекают химические реакции, приводящие к постепенному изменению их изоляционных и механических свойств. С ростом рабочей температуры эти процессы ускоряются, сокращая срок службы оборудования. В конденсаторах потери энергии пропорциональны частоте

$$\Delta P = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta,$$

поэтому несинусоидальный ток приводит к их дополнительному нагреву. Старение изоляции проводников и кабелей происходит из-за протекания несинусоидального тока, приводящего к повышенному нагреву наружной поверхности жил кабеля в следствии поверхностного эффекта и эффекта близости.

*Возникновение резонансных явлений в электрических сетях под действием токов высших гармоник.* Резонанс связан с работой силовых трансформаторов и УКРМ. В общем представлении это есть не что иное, как хорошо известный из теории электротехники резонансный контур. При резонансе на шинах трансформатора происходит резкое ухудшение качества питающего напряжения, а именно, увеличение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения, а также коэффициентов  $n$ -й гармонической составляющей напряжения. В результате этого на шинах НН трансформатора и на всех отходящих с этой секции шин фидерах также наблюдается плохое качество напряжения (рисунок 1). Всё оборудование, электропитание которого осуществляется с этой секции шин ТП, будет снабжаться недопустимым с точки зрения показателей качества напряжением.

Рассмотрим влияние резонанса на работу источников бесперебойного питания. К разным секциям трансформаторной подстанции подключены два одинаковых ИБП. Все параметры электрической сети, а также мощность, тип и схема подключения источников бесперебойного питания абсолютно идентичны (рисунок 1). Единственное отличие – наличие

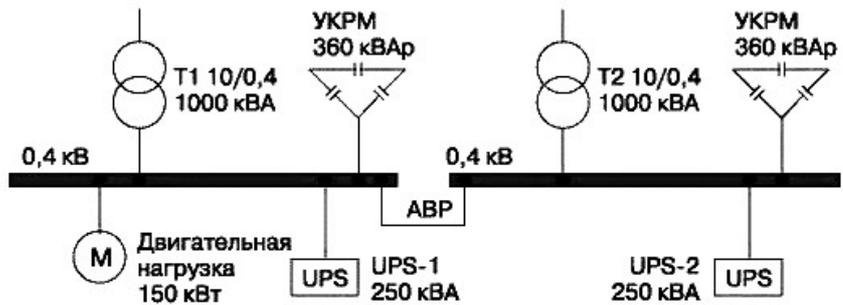


Рисунок 1 – Трансформаторная подстанция с двумя секциями шин

мощной двигательной нагрузки на 1-й секции шин трансформаторной подстанции. При сравнительном спектральном анализе напряжений в электроцитах питания UPS-1 и UPS-2, на рисунке 2 видно, что в питающем напряжении электроцита UPS-2 гармоника частотой 550 Гц превышает ту же гармонику в напряжении электроцита UPS-1 более чем в 2 раза. Это свидетельствует о наличии резонансных явлений, обусловленных емкостью работающих конденсаторов установки компенсации реактивной мощности, установленной на шинах 2-й секции ТП и индуктивностью трансформатора Т2 (см. рисунок 1). Резонанс наблюдается только на 2-й секции шин трансформатора, так как к 1-й секции, помимо мощного нелинейного электропотребителя, генерирующего ток резонансной гармоники (550 Гц), подключена двигательная нагрузка мощностью 150 кВт, которая и демпфирует нелинейную нагрузку [7].

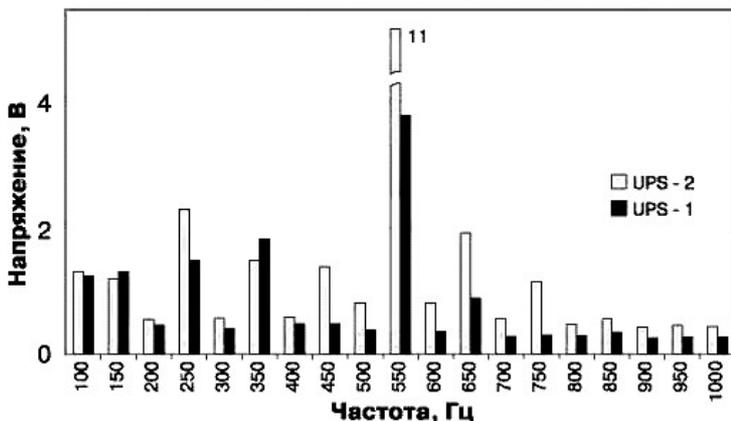


Рисунок 2 - Спектральный состав напряжения электроцитов питания UPS-1 и UPS-2, фаза А

Плохое качество питающего напряжения на входе в UPS-2 может негативно сказываться и на работе самого источника бесперебойного питания (ИБП). Конструктивно в ИБП входят выпрямитель, а также инвертор, который вырабатывает синусоидальное напряжение, поступающее на нагрузку.

Кроме того, в каждом ИБП средней и большой мощности обязательно присутствует система управления. Поскольку инвертор управляется микропроцессором, а выпрямитель представляет собой полупроводниковый преобразователь, то плохое

качество питающего напряжения на входе в ИБП с большой долей вероятности может приводить к ошибкам в работе всех вышеперечисленных внутренних устройств ИБП. Следствием этого является низкое качество питающего напряжения непосредственно у конечных электропотребителей [6, 7].

*Дополнительные потери в трансформаторах, генерируемые нелинейной нагрузкой.* При возникновении резонанса токи, протекающие по обмоткам силовых трансформаторов, приводят к принципиальным изменениям в условиях работы последних. Номинальные условия работы трансформаторов, а также их конструктивное исполнение, как правило, выбираются для токов и напряжений частотой 50 Гц. При этом допустимая несинусоидальность протекающих по обмоткам токов принимается не более 5% [7]. Как уже рассматривалось выше, при работе двух ступеней УКРМ наблюдается резонанс токов по 11-й гармонике промышленной частоты на участке цепи «Трансформатор-УКРМ». Это является следствием работы ИБП, подключенного к этой секции шин трансформатора. Амплитуда тока резонансной гармоники, протекающего по обмоткам трансформатора Т2, достигает 100 А (см. рисунок 1), и, как следствие его несинусоидальность превышает 30%.

Известно, что при протекании несинусоидальных токов по обмоткам трансформаторов, за счет явлений поверхностного эффекта и эффекта близости резко возрастают тепловые потери в них, кроме того, возникают потери, связанные с магнитными потоками рассеяния. Эти потери могут привести к значительным потерям энергии и быть причиной выхода из

стройка трансформаторов вследствие перегрева.

Для оценки влияния резонанса на условия работы трансформаторов необходимо определить эквивалентную токовую нагрузку (по тепловому режиму) с учетом высших гармоник тока.

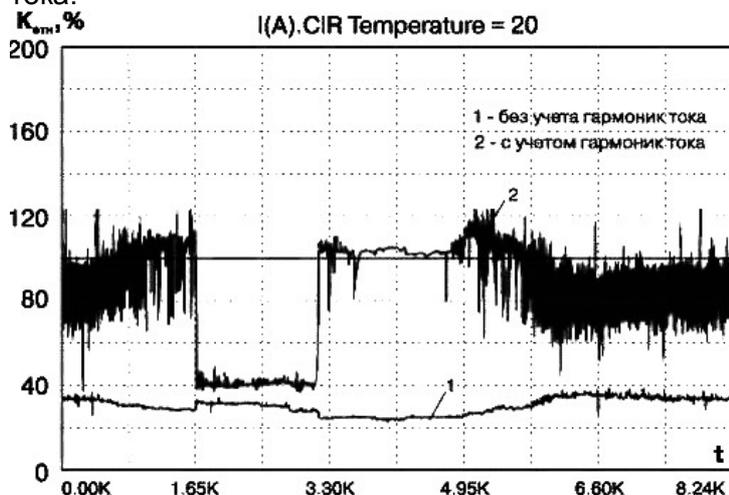


Рисунок 3 – График эквивалентной тепловой нагрузки трансформатора T2, фаза A

Выше представлен график эквивалентной токовой нагрузки с учетом (кривая 2) и без учета (кривая 1) высших гармоник тока трансформатора T2 (на примере фазы A, рисунок 3). Из графика видно, что при резонансе токов эквивалентная токовая нагрузка трансформатора (кривая 2) в отдельные продолжительные интервалы времени превышает 100%, то есть трансформатор T2 периодически оказывается перегруженным по тепловому режиму [4].

Срок службы трансформатора зависит от нагрева его частей и не позволяет при несинусоидальном токе использовать трансформатор на всю его номинальную мощность, ее

приходится занижать. Например, полная загрузка трансформатора может наступить при использовании лишь 80% номинальной мощности, указанной в его паспортных данных.

Кроме того, высокочастотные гармоники тока - это причина появления вихревых токов в обмотках трансформатора, что вызывает дополнительные потери мощности и перегрев трансформатора. Для линейных нагрузок, потери на вихревые токи составляют в общих потерях приблизительно 5%, с нелинейной нагрузкой они иногда возрастают в 15-20 раз [1, 3, 5, 7].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Harmonic Trend in the USA: A Preliminary Survey / I.M. Nejdawi, A.E. Emanuel, D.J. Pileggi, M.J. Corridori, R.D. Archambeault // IEEE Trans. on Power Delivery. -1999. -Vol.14, №4. -P. 1488-1494.
- 2 IEEE STD 1100-1999, IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment (IEEE Emerald book) (ANSI).
- 3 Harmonic Mitigating Transformer Energy Saving Analysis. MIRUS International Inc. Oct., 1999.
- 4 Evaluating Harmonic Concerns With Distributed Loads, Mark McGranaghan, Electrotek Concepts, Knoxville, Tenn., Nov. 2001.
- 5 Высшие гармоники в сетях электроснабжения 0,4 кВ / В.С. Петухов [и др.] // Новости электротехники. -2002. -№6 (18). -С. 24-29.
- 6 Петухов, В.С Резонансные явления в электроустановках зданий, как фактор снижения качества электроэнергии / В.С. Петухов, И.В. Красилов // Новости электротехники. -2003. -№1 (19). -С. 32-35.
- 7 Способы ограничения гармонического воздействия на работу установок по компенсации реактивной мощности / Е.В. Иванова [и др.] // Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт: тр. 3 междунар. науч.-техн. конф., Омск, 05-08 июня 2007 г. -Омск, 2007. -Ч.2. -С. 104-106.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

электромагнитная помеха, проводимость, электромагнитная совместимость, электрическая сеть, сетевое напряжение, помехоустойчивость, электроэнергетические системы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Вишнягов Михаил Геннадиевич, заместитель директора Обь-Иртышского филиала ФГУ «РРР»;

Левченко Александр Анатольевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Иванова Елена Васильевна, докт. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»;

Клеутин Владислав Иванович, ассистент Омский ИВТ филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Малаенко Олег Анатольевич, ассистент Омский ИВТ филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Руппель Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент Омский ИВТ филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

*Дмитриев Игорь Николаевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
644121, г. Омск, ул. 25 лет Октября, 11, Обь-Иртышский филиал ФГУ «РРР»  
630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

## **АНАЛИЗ ГАРМОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ БЕРЕГОВЫХ ОБЪЕКТОВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Обь-Иртышский филиал ФГУ «Российский Речной Регистр»  
ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного  
транспорта»  
Омский институт водного транспорта филиал ФГОУ ВПО  
«Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**М.Г. Вишнягов, Ю.М. Иванова, В.И. Клеутин, О.А. Малаенко,  
А.А. Руппель, А.А. Сидоренко, А.А. Левченко, И.Н. Дмитриев**

**ANALYS BY HARMONIC INFLUENCES INTO ELECTRICITY SUPPLY OF COAST OBJECTS WATER TRANSPORT WEST  
SIBIRIAN**

Ob-Irtysh branch «Russian River Register»  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
Omsk institute of water transport branch «Novosibirsk state academy of water transport»  
M.G. Vishnjagov, Yu.M. Ivanova, V.I. Kleutin, O.A. Malaenko, A.A. Ruppel, A.A. Sidorenko, A.A. Levchenko, I.N. Dmitriev

This article about electromagnetic environment in petroleum branch and water transport. We are research of possible transfer electro-magnetic interferences through general electricity supplies into plant. And the same way as interference immunity on electricity supplies.

Проведен анализ электромагнитной обстановки на предприятиях водного транспорта и нефтехимической отрасли. Выполнен анализ возможных путей передачи электромагнитных помех через сеть общего пользования на эти предприятия. Рассмотрены основные направления исследования помехоустойчивости электрических сетей.

Преобразования в экономике обусловили перераспределение электрических нагрузок в электрических сетях. В отношении электрических сетей Западной Сибири можно отметить следующие тенденции:

1 Увеличение доли нелинейных электроприемников во всех отраслях промышленности, в первую очередь за счет внедрения в системы управления электроприводом вентильных преобразователей;

2 Интенсивное развитие нефтедобывающей отрасли и устойчивый рост объема железнодорожных перевозок, следовательно, увеличение их долевого потребления электроэнергии;

3 Снижение долевого потребления электроэнергии тяжелой промышленности.

Таким образом, для регионов Западной Сибири при исследовании ЭМО в электрических сетях необходимо учитывать возрастающее влияние нелинейной нагрузки нефтедобывающей отрасли и электрифицированного железнодорожного транспорта, как наиболее мощных потребителей электроэнергии в регионе, влияние нелинейной нагрузки промышленных предприятий наиболее заметно, только в крупных промышленных центрах.

Наиболее подверженными гармоническому воздействию на водном транспорте являются электрооборудование и электрические сети транспортных терминалов (речные порты) подключенные к сети общего назначения: в промышленных центрах, работающие совместно с электрифицированным железнодорожным транспортом, а так же в нефтедобывающих регионах Западной Сибири, где промышленные электросети так же подключены к сети общего назначения.

Учитывая единство электромагнитных процессов производства, распределения и потребления электрической энергии целесообразно отметить связь проблемы гармонического воздействия на сети объектов водного транспорта с общей проблемой электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств в электроэнергетических системах (ЭЭС).

ГОСТ Р 50397-92 вводит понятие влияния электромагнитной помехи: снижение показателей качества функционирования технического средства, вызванного электромагнитными помехами (ЭМП). На рисунке 1 приведена схема влияния источника ЭМП на рецептор [1]. Наибольшее значение имеют помехи для объектов водного транспорта, передающиеся по электрическим сетям – кондуктивные ЭМП.



Рисунок 1 – Схема влияния электромагнитных помех на рецептор

Упрощенная схема влияния кондуктивных ЭМП на рецептор применительно к объекту исследования – электрическим сетям береговых объектов водного транспорта представлена на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2 – кондуктивные электромагнитные помехи передаются в сеть общего назначения и далее по сетям могут достигать электрических сетей береговых объектов водного транспорта. Следует отметить, что при передаче ЭМП через сети разного класса напряжения уровень помех может ослабевать или усиливаться, в зависимости от параметров электрической сети.

Для оценки помехоустойчивости электрических сетей по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_U$  используется отношение мощности трехфазного короткого замыкания сетей разного класса напряжения.

В Новосибирской государственной академии водного транспорта разработан критерий распределения кондуктивной ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения в сетях ЭЭС  $\lambda$  и  $\lambda'$ . [2,3]. При гармоническом воздействии со стороны сети более низкого напряжения имеем

$$\lambda \geq \sqrt{\frac{S_{к,н}}{S_{к,вр}}}$$

где  $S_{к,н}$ ,  $S_{к,вр}$  – соответственно, мощность трехфазного КЗ в сети низкого и высокого напряжения.

Если воздействие оказывается со стороны более высокого напряжения, то критерий обозначается  $\lambda'$ . Значения величины  $\lambda$  и  $\lambda'$ , рассчитанные из условий ЭМС сетей низкого и высокого напряжения, приведены на рисунке 3. Например, если источник высших гармоник находится в сети 0,4 кВ, то чтобы исключить его влияние на сеть от 6 до 20 кВ необходимо выдержать неравенство  $\lambda \leq 0,79$  [2, 3].

В настоящее время наибольшее гармоническое воздействие на сети общего назначения и следовательно на сети береговых объектов водного транспорта в северных регионах Западной Сибири ощущается со стороны нефтепромышленных электрических сетей. Доля потребления электроэнергии этими потребителями достаточно велика.

Электроснабжение нефтепромышленных потребителей осуществляется обычно от подстанций 110/35/6 (220/35/6) кВ, соединенных по линиям 35 кВ в кольцо. От кольцевых линий 35 кВ питаются распределительные промышленные подстанции 35/6 кВ, как правило, двухтрансформаторные, с двумя секциями шин на 6 кВ. Мощность трансформаторов этих подстанций находится в пределах 4-16 МВА.

Электрические сети 6 кВ являются основным элементом электроснабжения промышленных потребителей электрической энергии, среди которых кусты скважин оборудованных



- > Электроснабжение потребителей
- - - - -> Пути передачи кондуктивных ЭМП

Рисунок 2 – Возможные пути передачи ЭМП через сеть общего назначения в электрические сети береговых объектов водного транспорта

унифицированными центробежными насосами (УЭЦН) с вентильной схемой управления, кустовые насосные станции (КНС), насосные установки системы технологической подготовки нефти на промысле. Причем, первые потребляют до 60% всей потребляемой энергии на нефтепромысле, вторые – до 30%, а третьи – до 10%. Большинство электроприводов этих систем имеет вентильные схемы управления.

Одной из важнейших задач для обеспечения нормируемого уровня кондуктивных электромагнитных помех по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения решаемой в промышленных сетях нефтедобывающей отрасли является определение параметров подавляющих фильтров [4].

Однако, фактические схемы сети и нагрузки, как правило, отличаются от предусмотренных в проекте, а фильтры и фильтрокомпенсирующие устройства (ФКУ) не всегда обеспечивают нормируемый уровень электромагнитной совместимости.

Согласно экспериментальных исследований выполненными специалистами ЗАО «Электрон» – разработчика систем тиристорного управления погружными насосами коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_U$  в различных режимах работы унифицированными центробежными насосами (УЭЦН) при использовании станции управления частотным преобразователем «Электрон 05» может достигать значения 46% на шинах 0,4 кВ, что значительно превышает нормы установленные стандартом 13109-97 – 8%.

Исходя из практики эксплуатации и накопленной статистики за более чем 20-ти летний период работы ЗАО «Электрон» разработаны и постоянно совершенствуются выходные фильтры, предназначенные для подавления высокочастотных гармоник несущей частоты 3-х фазного выходного напряжения станций управления с частотным регулированием. Фильтр подключается между частотным преобразователем и повышающим трансформатором. Тем не менее, установка фильтров обеспечивает нормируемый уровень электромагнитной совместимости только в основных режимах работы электроустановки [5]. И в процессе эксплуатации рекомендуется периодически проводить измерения показателей качества электроэнергии. Поэтому практически важно обеспечить расчетные отношения критерия распределения кондуктивной ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения в электрических сетях.

**Выводы:**

- 1 Интенсивное развитие нефтедобывающей отрасли и устойчивый рост объема перевозок электрифицированным железнодорожным транспортом, обусловили усиление гармонического воздействия на электрические сети общего назначения.
- 2 Наибольшее гармоническое воздействие на сети общего назначения и, следовательно, на сети береговых объектов водного транспорта в северных регионах Западной Сибири ощущается со стороны нефтепромысловых электрических сетей.
- 3 Установка фильтров высших гармоник и ФКУ не в полной мере обеспечивают нормируемый уровень электромагнитной совместимости.
- 4 Наряду с установкой фильтров высших гармоник и ФКУ необходимо периодически проводить измерения показателей качества электроэнергии, а также обеспечить расчетные отношения критерия распределения кондуктивной ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения в электрических сетях.



Рисунок 3 – Механизм распространения кондуктивной ЭМП  $\delta K_U$  в электроэнергетической системе

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Шваб, А. Электромагнитная совместимость / А. Шваб; пер. с нем. В.Д. Мазина, С.А. Спектора; под ред. И.П. Кружекина. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1998. -460 с.

2 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электрических сетях 6-10 кВ: монография / Е.В. Иванова, А.А. Руппель; под ред. В.П. Горелова. -Омск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., Омск. фил., 2004. -284 с.

3 Уровень напряжения в системах электроснабжения общего назначения промышленных центров / Е.В. Иванова [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2005. -№2. -С. 110-118.

4 Меньшов, Б.Г. Электрооборудование нефтяной промышленности / Б.Г. Меньшов, И.И. Суд, А.Д. Яризов. -М.: Недра, 1990. -364 с.

5 Результаты замера коэффициентов искажения синусоидальности кривой выходного напряжения  $K_{U,вых}$  и тока  $K_{I,вых}$  частотного преобразователя «ЭЛЕКТОН-05-400». Нефтепромысловое оборудование. Системы управления – Радужный: ЭЛЕКТОН ЗАТО, 2006. -35 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электромагнитная помеха, кондуктивность, электромагнитная совместимость, электрическая сеть, сетевое напряжение, помехоустойчивость, электроэнергетические системы

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Вишнягов Михаил Геннадиевич, заместитель директора Обь-Иртышского филиала ФГУ «РРР»;

Иванова Юлия Михайловна, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»;

Клеутин Владислав Иванович, ассистент Омский ИВТ филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Малаенко Олег Анатольевич, ассистент Омский ИВТ филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Руппель Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент Омский ИВТ филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Сидоренко Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент Омский ИВТ филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Левченко Александр Анатольевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Дмитриев Игорь Николаевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 644121, г. Омск, ул. 25 лет Октября, 11, Обь-Иртышский филиал ФГУ «РРР»

630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

## **ЗАТРАТЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОНДУКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

Обь-Иртышский филиал ФГУ «Российский Речной Регистр»  
ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Омский институт водного транспорта филиал ФГОУ ВПО  
«Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**М.Г. Вишнягов, Ю.М. Иванова, В.И. Клеутин,  
А.А. Руппель, И.Н. Дмитриев, А.А. Левченко, В.Г. Сальников**

**COST ANALYSIS BY WORKS TO BOUND WITH ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE INTO ELECTRICITY SUPPLY**

Ob-Irtysh branch «Russian River Register»

«Novosibirsk state academy of water transport»

Omsk institute of water transport branch «Novosibirsk state academy of water transport»

M.G. Vishnjagov, Yu.M Ivanova, V.I. Kleutin, A.A. Ruppel', I.N. Dmitriev, A.A. Levchenko, V.G. Sal'nikov

This article about electromagnetic interferences into regions electroenergetic systems. We consider of expenditures on determination this electromagnetic interferences. To be under consideration an example to express-evaluation of cost this works.

Выполнен анализ возможных путей передачи электромагнитных помех через сеть общего назначения путем введения фильтров высших гармоник в электрические сети береговых объектов водного транспорта, обозначены направления исследований помехоустойчивости электрических сетей береговых объектов водного транспорта Западной Сибири. Даны рекомендации по периодическому проведению измерения качества электроэнергии, а так же обеспечению расчетных отношений критериев распределения кондуктивной ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальной кривой напряжения.

Электроэнергия как товар обладает рядом специфических свойств. Она непосредственно используется при создании других видов продукции и оказывает существенное влияние на экономические показатели производства и качества выпускаемых изделий. Качество электроэнергии проявляется через качество работы электроприемников и является состав-

ляющей электромагнитной совместимости (ЭМС), характеризующий электромагнитную сферу и обуславливающую электромагнитную обстановку (ЭМО).

Общим параметром режима для электроприемников является напряжение и все показатели качества электроэнергии (КЭ) согласно ГОСТ 13109-97 представляют собой характеристики напряжения.

Показатели КЭ определяются случайными электромагнитными процессами, зависящими от многих случайных факторов. При превышении математическим ожиданием нарушаемого показателя КЭ за расчетное время (24 часа) нормируемых значений появляется кондуктивная электромагнитная помеха (ЭМП), распространяющаяся по сетям [1]. На рисунке 1 приведена схема всех возможных ЭМП на ЭМО в сетях от 6 до 110 кВ региональной электроэнергетической системе (ЭЭС).

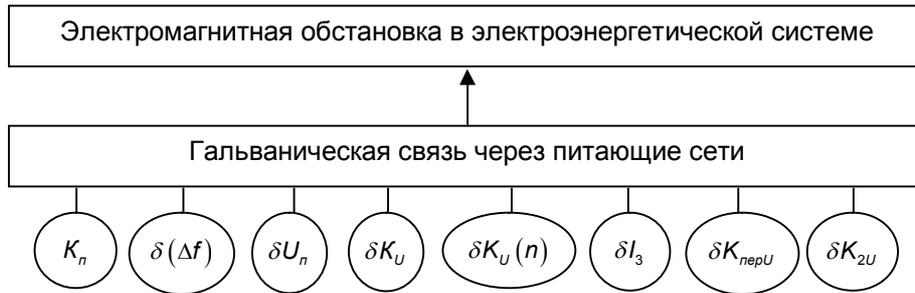


Рисунок 1 – Схема воздействия кондуктивных ЭМП на ЭМО и ЭЭС

Эти ЭМП оказывают негативное влияние на работу силового оборудования (генераторы, трансформаторы, двигатели) и передаточных устройств (ВЛ, кабельные линии, РУ и т.д.). Они определяются в соответствии с алгоритмами определения кондуктивных ЭМП по отклонению частоты  $\delta(\Delta f)$ , по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности  $\delta K_{2U}$ , по установившемуся отклонению напряжения  $\delta U_n$ , по коэффициенту искажения синусоидальной кривой фазного (междуфазного) напряжения  $\delta K_U$ , по коэффициенту n-ой гармонической составляющей напряжения  $\delta K_{U(n)}$ , по току замы-

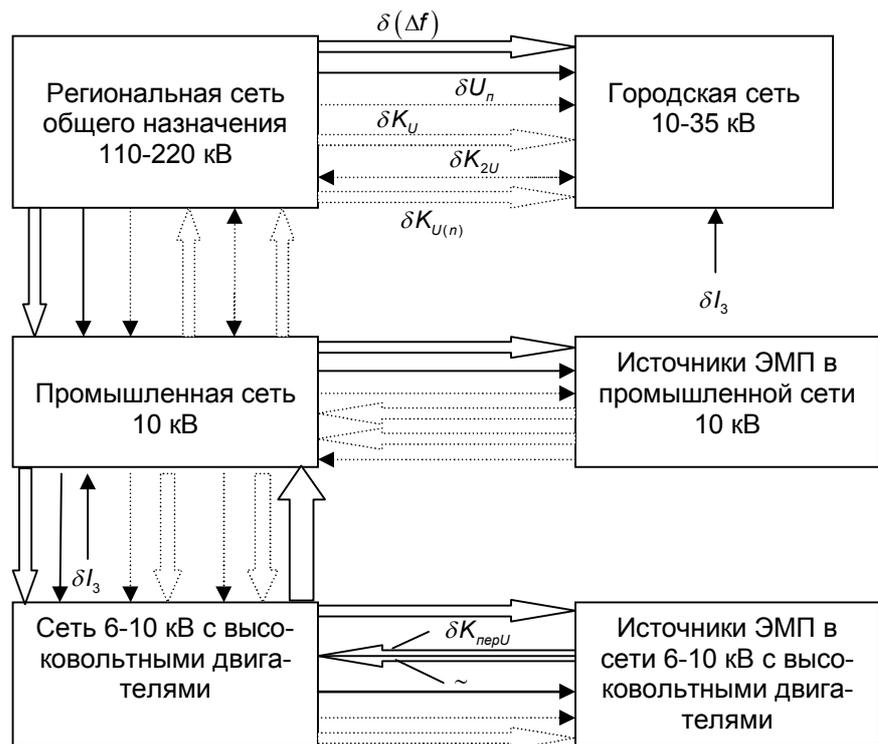


Рисунок 2 – Зоны влияния кондуктивных ЭМП в сетях региональной ЭЭС

кания на землю в сетях от 6 до 35 кВ  $\delta I_3$ , а так же коэффициенту временного перенапряжения длительностью до 1 с  $\delta K_{перU}$  и по коммутационному импульсному напряжению  $K_n$ , возникающих при коммутации высоковольтных двигателей.

На основе экспериментальных измерений показателей КЭ в сетях от 6 до 110 кВ и респективного анализа результатов, представленных другими исследователями [1, 2], на рисунке 2 приведены наиболее вероятные зоны влияния кондуктивных ЭМП, распространяющихся по сетям региональной ЭЭС. Кондуктивные ЭМП  $\delta I_3$ ,  $\delta K_{перU}$ ,  $K_n$ , практически не оказывают влияние на режим работы региональной сети 110 кВ. Они замыкаются в ведомственных (местных) сетях 6-35 кВ. Все кондуктивные ЭМП должны быть подавлены системой управ-

ления режимами сетей в региональной ЭЭС. Для этого они должны быть достоверно оценены развивающейся теорией кондуктивных ЭМП, на основе экспериментальных измерений показателей КЭ в соответствии с действующими директивными документами.

Одной из первых основных задач организационного обеспечения этих мероприятий является определение стоимости (цены) проекта по подавлению кондуктивных ЭМП в ЭЭС, хотя монополизм характер этих оказываемых услуг на рынке электроэнергетического консалтинга предполагает формирование цены в виде взвешенного соглашения заказчика и подрядчика. Такой подход дает возможность осуществления конкурсных процедур и, в конечном счете, приводит к установлению цены на работу на уровне баланса спроса-предложения (цены рынка) [1].

Однако, для того, чтобы участвовать в тендере топ-менеджеру консалтинговой организации необходимо достоверно знать нижнюю границу стоимости выполняемой по договору работы. Среди всех известных методов ценообразования в современных условиях наиболее приемлем нормативно-параметрический метод. Он представляет собой систему зависимостей, устанавливающих связь между договорной ценой на работу (услугу), реальными затратами труда непосредственных исполнителей и гарантируемых вознаграждением по полученным результатам.

Первое уравнение системы зависимостей определяет стоимость (цену) предлагаемой работы

$$Y_1 = \sum b_i x_j, \quad (1)$$

где  $b_i$  – организационно-технические факторы, представляемые производственными подразделениями организации;

$x_j$  – факторы, влияющие на затраты труда и вознаграждение непосредственных исполнителей с учетом координации работ исполнителей, ценности необходимых материалов и сложности приборного парка, командировочных расходов, условий работы и проживания, географии расположения энергообъекта [3].

Значение  $b_i$  зависят от сложности, срочности, новизны, значимости (всего 4) работы для конкретного энергообъекта и отрасли в целом (шкала предположительно может составлять от 1 до 10). Перечень организационно-технических факторов в количестве не более пяти утверждается руководством консалтинговой организации. Перечень факторов, влияющих на затраты труда и вознаграждение, тоже ограничивается. Соответствующая шкала коэффициентов  $x_j$  может составлять от 1 до 5, а показатель  $\sum x_j = 1$  учитывает выполнение разового поручения руководства без заключения договора. Выбор коэффициентов  $b_i$  и  $x_j$  и их сочетаний осуществляет руководитель темы.

Второе уравнение системы зависимостей связывает между собой стоимость работы по конкретному договору исполнителя, (группы исполнителей) с его заработком, т.е. с вознаграждением по теме (темам), установленные оклады и общепроизводственные расходы согласно сметы прилагаемой к договору

$$Y_2 = (Z + S)T + L + F, \quad (2)$$

где  $Z$  – вознаграждение по теме (темам) исполнителя (группы исполнителей) в расчете на 1 месяц;

$S$  – установленные месячные оклады исполнителя (группы исполнителей);

$L$  – общепроизводственные расходы по конкретному договору (договорам), при разовом поручении руководства организации  $L = 0$ ;

$F$  – оплата соисполнителей если они привлечены;

$T$  – срок выполнения работы в месяцах.

При несовпадении значений  $Y_1$  и  $Y_2$  необходимо уточнять значения сомножителей  $b_i$  и  $x_j$  или их сочетаний. Можно так же применять размер вознаграждения по теме или срокам проведения работ. Итерационным подходом следует добавить равенства  $Y_1 \approx Y_2 \approx Y$ . Допускается несоответствие в пределах 10%.

Третье уравнение системы зависимостей отражает плановые суммарные финансовые поступления по всем договорам с соисполнителями и плановые годовые расходы, в том числе непредвиденные, а так же предполагаемые внереализационные доходы (платежи арендаторов, банковские начисления, денежные средства, поступающие от проведения конференции и учебы, от платы за стоянку машин и др.). Плановые суммарные денежные

поступления от всех завершенных оплаченных работ организации на конец текущего года за вычетом оплаты договоров с соисполнителями составляют

$$\sum_{\text{год}} Y_n = \sum_{\text{год}} \Pi_f - \sum_{\text{год}} D_k, \quad (3)$$

где  $\sum_{\text{год}} \Pi_f$  – интегральные плановые годовые, в том числе непредвиденные расходы организации за год;

$\sum_{\text{год}} D_k$  – предполагаемые доходы организации от внереализационных мероприятий за год;

$\Pi$  – планируемое (согласно календарным планам по договорам) количество завершенных и проплаченных работ (услуг) организации на конец текущего года, в том числе переходящих с прошлых лет;

$f$  – перечень предполагаемых расходов организации в плановом году;

$k$  – перечень предполагаемых внереализационных доходов.

Естественно условием в системе уравнение является четвертое неравенство

$$\sum_{\text{год}} Y_{\partial n} \geq Y_{\partial 1} + Y_{\partial 2} + \dots + Y_{\partial n}, \quad (4)$$

где  $\sum_{\text{год}} Y_{\partial n}$  – годовая реализация  $n$ -го количества договоров  $Y_{\partial 1}, Y_{\partial 2}, \dots, Y_{\partial n}$ .

Совместное решение системы приведенных трех уравнений (1)-(3) плюс проверка соблюдения неравенства (4) позволяют объективно определить годовой минимально приемлемый для организации объем финансирования, необходимый для выполнения работы.

Пример экспресс-оценки стоимости работ по договору «Оценка кондуктивных ЭМП по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности на шинах 110 кВ ГПП1 Аксуского завода ферросплавов (Казахстан).

Исходные условия:

- аналогичных договоров нет;
- шкала коэффициентов и организационно-технические факторы в формуле (1) разработаны, согласованы и утверждены;
- исполнители – один сотрудник с установленным окладом 30 тыс. руб./мес. и один сотрудник с окладом 15 тыс. руб./мес.;
- продолжительность работы 3 месяца;
- общепроизводственные расходы по договору, в том числе непредвиденные, составляют  $L = 10\%$  от стоимости договора;
- внереализационные доходы для отдельных тем  $D_k$  отсутствуют;
- соисполнители отсутствуют.

**Этап 1.** Руководитель темы с учетом шкалы коэффициентов  $b_i$  и  $x_j$  в ЗАО «Казахэнергоэкспертиза» оценивает стоимость работы. Организационно технический фактор  $b_i$  включает значения: 3 (сложность), 5 (значимость), 5 (новизна), 3 (срочность). Фактор, влияющий на затраты труда,  $x_j$  включает значения: 5 (крайняя степень удаленности и дискомфорта), 4 (сложность приборного парка).

По формуле (1) определяется

$$Y_1 = (3 + 5 + 5 + 3) \times (5 + 4) = 144 \text{ тыс. руб.}$$

**Этап 2.** Стоимость договора  $Y_1$  регулируется уравнение (2), согласно которому

$$Y_1 = (30 + 15) \cdot 3 + 0,1 \cdot 144 \approx 149 \text{ тыс. руб.}$$

**Этап 3.** Учитывая допустимость несовпадений значений  $Y_1$  и  $Y_2$  в пределах 10%, принимаем стоимость работ в объеме 145 тыс. руб.

**Этап 4.** Проверяем соблюдение условий математической модели (4). Эти условия выполняются, так как в консалтинговой организации выполняется один договор на данную тему.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Иванова, Е.В. Кондуктивных электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Е.В. Иванова; под ред. В.П. Горелова, Н.Н. Лизалека. -Новосибирск: Изд-во Новосиб.

гос. акад. водн. трансп., 2006. -432 с.

2 Руппель, А.А. Кондуктивные электромагнитные помехи в электрических сетях 6-10 кВ: монография / Е.В. Иванова, А.А. Руппель; под ред. В.П. Горелова. -Омск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., Омск. фил., 2004. -284 с.

3 Автопомов, А.Б. О формировании цены на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (услуги) / А.Б. Автопомов // Энергетик. -2006. -№6. -С. 38-40.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *электромагнитная помеха, кондуктивность, гармоническое воздействие, электрическая сеть, сетевое напряжение, помехоустойчивость, нелинейные электроприемники*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Вишнягов Михаил Геннадиевич, заместитель директора Обь-Иртышского филиала ФГУ «РРР»;*

*Иванова Юлия Михайловна, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»;*

*Клеутин Владислав Иванович, ассистент Омский ИВТ филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

*Руппель Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент Омский ИВТ филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

*Дмитриев Игорь Николаевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

*Левченко Александр Анатольевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

*Сальников Василий Герасимович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *644121, г. Омск, ул. 25 лет Октября, 11, Обь-Иртышский филиал ФГУ «РРР»*

*630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

*644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АМПЛИТУДНЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ РЕФЛЕКТОМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА**

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

**А.Д. Бялик**

### **CHARACTERISTIC PROPERTIES OF TRANSFER CHARACTERISTICS FOR REFLECTOMETRIC AMPLITUDE FIBER OPTIC PRESSURE SENSORS**

«Novosibirsk State Technical University»

A.D. Byalik

In the paper transfer characteristics for reflectometric amplitude fiber optic pressure sensors are discussed and behavior of these transfer characteristics are researched in the case when reflecting surface is not paralleled fiber optic face planes.

Рассматриваются преобразовательные характеристики амплитудных волоконно-оптических датчиков (ВОД) давления рефлектометрического типа и исследуется поведение этих характеристик в случае, когда отражающая поверхность не параллельна плоскости, в которой лежат торцы оптических волокон.

Общие вопросы проектирования волоконно-оптических датчиков (ВОД) давления рассматриваются в работах [1-4]. Преобразовательная характеристика применительно к амплитудным волоконно-оптическим датчикам давления рефлектометрического типа имеет вид [3, 5, 6, 9]

$$U = F_3 \{ F_2 [ F_1 (p) ] \},$$

или (1)  $\Delta p \rightarrow \Delta x \rightarrow \Delta I \rightarrow \Delta U$ ,

где  $\Delta p$  – давление или изменение давления;

$\Delta x$  – смещение чувствительного элемента;

$\Delta I$  – изменение потока оптического излучения;

$\Delta U$  – изменение выходного сигнала;

$F_1, F_2, F_3$  – частные функции преобразования, которое в данном случае соответствует 3 этапам преобразования [6]:

$F_1$  – функция механического преобразования. Описывает зависимость смещения упругого чувствительного элемента ВОД под воздействием измеряемого давления;

$F_2$  – функция преобразования оптической модуляции. Описывает изменение интенсивности светового потока, отраженного от поверхности упругого чувствительного элемента (микрзеркала) в зависимости от смещения последнего. Данная функция преобразования может быть представлена в виде

$$F_2 = F_{2C} \cdot F_{2H}, \quad (2)$$

- $F_{2C}$  – составляющая функции преобразования оптической модуляции, связанная со стандартизованными характеристиками элементов конструкции;
- $F_{2H}$  – составляющая функции преобразования оптической модуляции, связанная со свойствами элементов конструкции с переменными свойствами и характеристиками;
- $F_3$  – функция электрического преобразования. Описывает изменение электрического выходного сигнала в зависимости от изменения интенсивности светового потока.

Наиболее важной из частных функций преобразования является функция преобразования оптической модуляции  $F_2$ . От нее в наибольшей степени зависит ход общей преобразовательной характеристики датчика, а, следовательно, и метрологические характеристики датчика в целом.

В работах [3, 7-10] было описано моделирование преобразовательной характеристики  $F_2$  в двухволоконном приближении в случае, когда торцы излучающих и приемных волокон и микрозеркала лежат в параллельных плоскостях. Однако из экспериментальных данных и технологических особенностей изготовления ВОД [11, 12] известно, что торцы испускающих и приемных волокон могут лежать в плоскостях, которые образуют между собой некоторый угол. В настоящей работе будет рассмотрена составляющая частной преобразовательной характеристики  $F_{2H}$  в этом, самом распространенном на практике случае.

Преобразовательную характеристику датчика рассмотрим в двухволоконном приближении. На рисунке 1 приведены необходимые обозначения. Наклонное расположение отражающей поверхности приводит к почти эллиптической форме отраженного светового луча. Его параметры зависят от радиуса волокон  $r$ , угла расхождения  $\theta$ , угла наклона  $\gamma$ .

Световой поток, падающий на фотоприемник, пропорционален площади заштрихованного участка.

В этом случае функция преобразования  $F_{2H}$  будет определяться как

$$F_{2H} = \frac{I_{22}}{I_{11}} = \frac{\frac{r^2(\alpha - \sin \alpha)}{2} + a_3 b_3 \arccos\left(\frac{x}{a_3}\right) - xy}{\pi a_3 \cdot b_3}, \quad (3)$$

$$\alpha = 2 \arccos\left(\frac{r^2 + a_1^2 - d^2}{2r \cdot a_1}\right); \quad (4)$$

где  $a_3 = \frac{1}{2} \left( r + \frac{L \operatorname{tg} \theta}{2 \cos \gamma} \right) \left[ \frac{\cos \theta}{\cos(\gamma + \theta)} + \frac{\cos \theta}{\cos(\gamma - \theta)} \right]; b_3 = \frac{1}{2} \left( r + \frac{L \operatorname{tg} \theta}{2 \cos \gamma} \right);$

$$a_1 = a - a_3 - \frac{L \operatorname{tg} \gamma}{2} + \left( r + \frac{L \operatorname{tg} \theta}{2 \cos \gamma} \right) \left[ \frac{\cos \theta}{\cos(\gamma - \theta)} \right];$$

$I_{22}, I_{11}$  – интенсивности светового потока, падающего на фотоприемник и испускаемого источником излучения соответственно;

$a_3, b_3$  – большая и малая полуоси эллиптического светового пятна в плоскости приемного волокна соответственно;

$\alpha$  – угол между точками пересечения эллипса и приемного волокна с координатами  $x$  и  $y$ ;

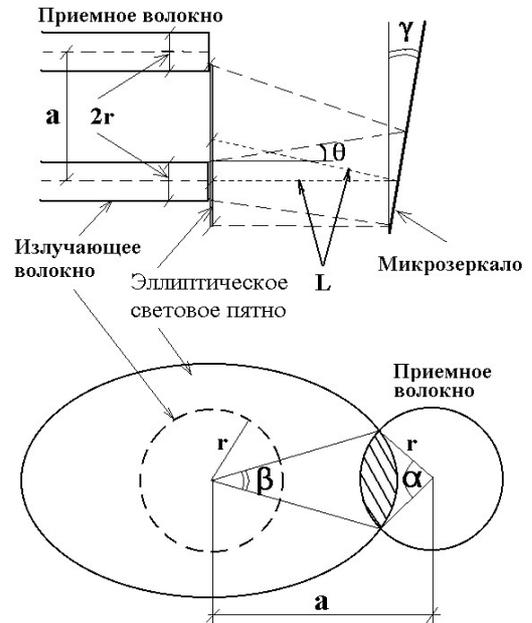


Рисунок 1 – Схема, объясняющая зависимость интенсивности светового потока в приемном волокне от взаимного расположения оптических волокон и отражающей поверхности с учетом параметра  $\gamma$

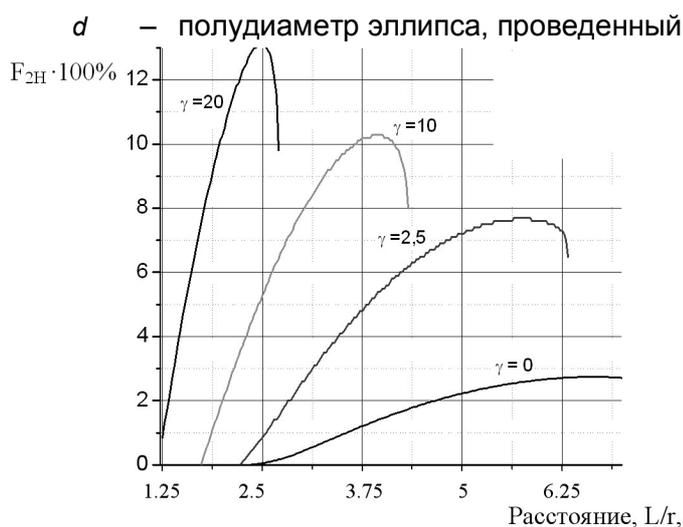


Рисунок 2 – Зависимости преобразовательной функции  $F_{2H}$  от расстояния до микрзеркала. Угол  $\gamma$  принимает значения 0; 2,5; 10; 20°

Результаты расчетов функции преобразования  $F_{2H}$  согласно предложенной модели показаны на рисунке 2.

Можно отметить, что с ростом параметра  $\gamma$  увеличивается крутизна преобразовательной характеристики, уменьшается величина квазилинейного участка, который при этом смещается в сторону меньших расстояний до микрзеркала.

Если в ВОД используется не два, а набор волокон с общим торцом, собранных в кабель, необходимо просуммировать вклад каждого волокна в преобразовательную характеристику. Из выражений для  $F_{2H}$  (3) и (4) следует сильная зависимость светового потока в приемном волокне от расстояния между осями волокон «а». При выполнении условия

$a/r > 11$  вклад излучающих волокон в преобразовательную функцию  $F_{2H}$  оказывается менее 0,5%. Это позволяет ввести понятие кластера – набора излучающих волокон, которые дают вклад в световой поток данного приемного волокна. Тогда суммарная функция преобразования  $F_{Общ2H}$  определяется как

$$F_{Общ2H} = \sum_k \frac{1}{2} \sum_a \frac{I_{2a}}{I_{1a}} \cdot n_a,$$

где  $I_{2a}, I_{1a}$  – интенсивности светового потока, падающего на фотоприемник и испускаемого источником излучения соответственно пары волокон на текущем расстоянии «а» в пределах кластера;

$n_a$  – количество излучающих волокон на текущем расстоянии «а» до приемного в пределах кластера;

$k$  – общее число кластеров.

Необходимо отметить, что параметр «а» принимает только дискретные значений, определяемых размерами кластера.

**Выводы:** Сравнение результатов расчетов полной преобразовательной характеристики амплитудных волоконно-оптических датчиков рефлектометрического типа, выполненных по методике, описанной в [6] и полученных с использованием модели, приведенной в данной работе, с экспериментальными данными, описанными в работах [5, 11, 12], показывает, что если параметр рассогласования  $\gamma$  лежит в пределах 1,5-2,5 градуса, то экспериментальные и расчетные данные согласуются с точностью до 5-7% в указанном диапазоне изменений параметра  $L$ . Это позволяет использовать описанную в работе модель расчетов преобразовательной характеристики для проектирования амплитудных ВОД давления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бусурин, В.И. Волоконно-оптические датчики: физические основы расчёта и применения / В.И. Бусурин, Ю.Р. Носов. -М.: Энергоатомиздат, 1990. -254 с.
- 2 Волоконно-оптические датчики / Т. Окоси [и др.]; под общ. ред. Т. Окоси. -Л.: Энергоатомиздат, 1990. -256 с.
- 3 Зак, Е.А. Волоконно-оптические преобразователи с внешней модуляцией / Е.А. Зак. - М.: Энергоатомиздат, 1989. -128 с.
- 4 Vaganov, V.I. Construction problems in sensors / V.I. Vaganov // Sensors and actuators, A. - 1991. -№28. -С. 161-172.
- 5 Бялик, А.Д. Амплитудные волоконно-оптические датчики как элементы систем управления и контроля в электроэнергетике / А.Д. Бялик // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2008. -№1. -С. 278-282.

6 Бялик, А.Д. Методика расчета функции преобразования амплитудных волоконно-оптических датчиков как элементов систем управления и контроля электроэнергетического оборудования / А.Д. Бялик // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2008. -№1. -С. 276-278.

7 Бялик, А.Д. Особенности проектирования амплитудных волоконно-оптических датчиков давления / А.Д. Бялик // Сб. науч. тр. НГТУ. -Новосибирск, 2003. -№4. -С. 159-163.

8 Мурашкина, Т.И. Амплитудные волоконно-оптические датчики автономных систем управления / Т.И. Мурашкина, В.И. Волчихин. -Пенза: Информ.-издател. центр ПГУ, 1999. -173 с.

9 Теоретические основы проектирования амплитудных волоконно-оптических датчиков давления с открытым оптическим каналом / А.Г. Пивкин [и др.]. -М.: МГУЛ, 2004. -246 с.

10 Пивкин, А.Г. Волоконно-оптические датчики давления аттенуаторного типа для космической техники / А.Г. Пивкин, Т.И. Мурашкина. -Пенза: Информ.-издател. центр ПГУ, 2005. -152 с.

11 Круглов, В.В. Волоконно-оптический датчик давления / В.В. Круглов, А.Г. Годнев // Приборы и системы упр. -1993. -№5.

12 Гридчин, В.А. Волоконно-оптические преобразователи механических величин / В.А. Гридчин, В.В. Круглов, А.Д. Бялик // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-98): тр. Междунар. науч.-техн. конф. (Новосибирск, 24-26 сент. 1998 г.). -Новосибирск, 1998. -Т.4: Сенсорная электроника. -С. 4-6.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* волоконно-оптические датчики, давление, преобразовательные характеристики  
*СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:* Бялик Александр Давыдович, ассистент ГОУ ВПО «НГТУ»  
*ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:* 630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

## **РЕЛЕЙНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ В СИСТЕМАХ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ МАШИН**

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

**В.Ф. Тонышев, В.А. Николаев**

### **RELAY CONTROL OF TRANSFORMERS IN STIMULATION SYSTEM OF SYNCHRONOUS MACHINES**

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.F. Tonyshev, V.A. Nikolaev

In this article are made researches in the sphere of relay control of transformers and problems of objectionable subharmonic appearance by regulation. Their exact amplitudes and frequencies are calculated.

Выполнены исследования в области релейного управления преобразователями касающиеся проблемы появления нежелательных субгармоник при регулировании. Вычислены их точные амплитуды и частоты.

Широко используемый принцип фазового управления выпрямителей систем возбуждения современных синхронных машин имеет ряд недостатков, в частности, сравнительно сложную систему управления. Альтернативный способ релейного управления не применяется из-за относительно более низкого быстродействия и возникновения в системе возбуждения (в выпрямленном напряжении и токе) субгармоник, то есть частотных составляющих, в целое число раз меньших основной частоты. [1] Первое обстоятельство не является определяющим, например, при регулировании возбуждения мощных синхронных двигателей по, так называемым, «экономическим законам», таким как  $\cos \varphi$  и др. Преобразователи, основанные на релейном управлении, обладают рядом преимуществ, одно из которых то, что они лишены «индуктивного эффекта», то есть отставания тока от напряжения в питающем вводе.

Представляет интерес оценка уровня субгармоник в роторе широко используемых синхронных машин.

Для анализа частотного спектра релейного регулирования напряжение на нагрузке с определенным упрощением представим в виде меандра [2] (рисунок 1), который описывается функцией

$$f(t) = B + A \sum_n^k \left[ \frac{4}{\pi n} \sin(n \cdot \omega \cdot c) \cdot \cos(n \cdot \omega t) \right], \quad (1)$$

где  $A$  – амплитуда;  
 $B$  – смещение по оси  $U$ ;  
 $k$  – количество гармоник;  
 $n$  – номер гармоники;  
 $\omega$  – угловая частота,

$$\omega = \frac{2\pi}{T};$$

$T$  – период;  
 $c$  – коэффициент, определяющий форму выпрямленного напряжения,

$$c = \frac{T \cdot t_u}{2(T - t_u)};$$

$t$  – время.

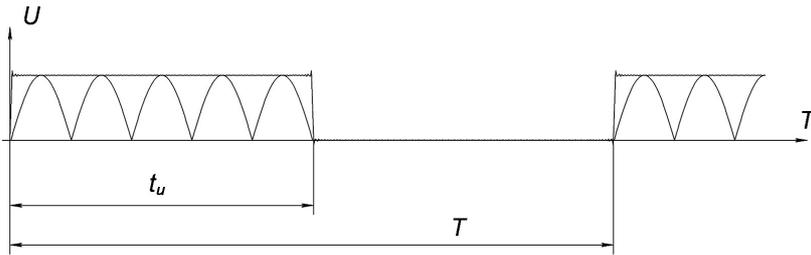


Рисунок 1 – Временная диаграмма выпрямленного напряжения

Амплитуды гармоник определим, вычислив коэффициенты Фурье  $a_n$ ,  $b_n$  и  $a_0$ .

Функция четная, поэтому

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(n \cdot \omega t) dt = \frac{4 \sin(n \cdot \omega \cdot c)}{T \cdot \pi n^2 \cdot \omega} [\cos(n \cdot \omega t) \sin(n \cdot \omega t) + n \cdot \omega T]; \quad (2)$$

$$b_n = 0; \quad (3)$$

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T \left[ B + A \frac{4}{\pi n} \sin(n \cdot \omega \cdot c) \cos(n \cdot \omega t) \right] dt = 2B + \frac{2 \cdot 4A}{T \pi n} \sin\left(n \frac{2\pi}{T} c\right) = 2B. \quad (4)$$

Амплитуда гармоник для  $n = 1, 2, 3 \dots$

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} = |a_n|. \quad (5)$$

Для  $n = 0$

$$A_n = a_0. \quad (6)$$

В программной среде Mathcad, изменяя значения коэффициентов  $A$ ,  $B$ , номер гармоники  $n$  для каждого случая,  $T$  – в зависимости от длительности цикла,  $c$  – в зависимости от количества полупериодов выпрямленного напряжения, получен частотный спектр субгармоник.

Так для регулирования с количеством полупериодов в цикле равном 10 наибольшую амплитуду имеет гармоника с частотой 10 Гц (рисунок 2 для трех полупериодов в цикле).

Самую большую амплитуду из субгармоник для 20 полупериодов имеет гармоника с частотой 5 Гц, для 30 полупериодов – 3,3 Гц, для 100 полупериодов – 1 Гц.

Частоту гармоники, имеющую максимальную амплитуду, можно вычислить по формуле

$$\omega_{\max A} = \frac{\omega_c}{s/2}, \text{ Гц}, \quad (7)$$

где  $\omega_c$  – частота питающей сети,  $\omega_c = 50$  Гц;

$s$  – количество полупериодов выпрямленного напряжения в цикле.

В частности, для 40 полупериодов частота гармоники, имеющую максимальную амплитуду будет равна 2,5 Гц, для 50 полупериодов – 2 Гц, для 60 полупериодов – 1,66 Гц, для

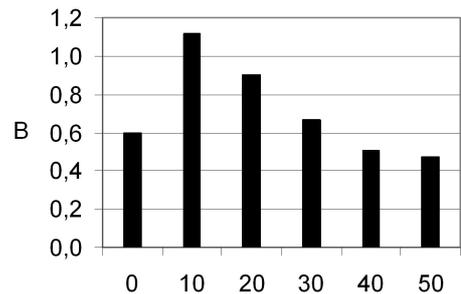


Рисунок 2 – Гистограмма гармоник напряжения при релейном регулировании с количеством полупериодов равным трем в цикле с 10 полупериодами

70 полупериодов – 1,43 Гц, для 80 полупериодов – 1,25 Гц, а для 90 полупериодов – 1,11 Гц, то есть частота максимальной по амплитуде гармоники зависит от длительности цикла  $T$ .

Проведенные расчеты, с использованием программной среды Matlab, для генератора ТГВ-220-2 и двигателя СТД-8000-2 позволили определить уровень гармоник. Токи в обмотках возбуждения содержат низкочастотные гармоники. На рисунке 3 представлен случай регулирования с количеством полупериодов в цикле равном 10 для двигателя СТД-8000-2.

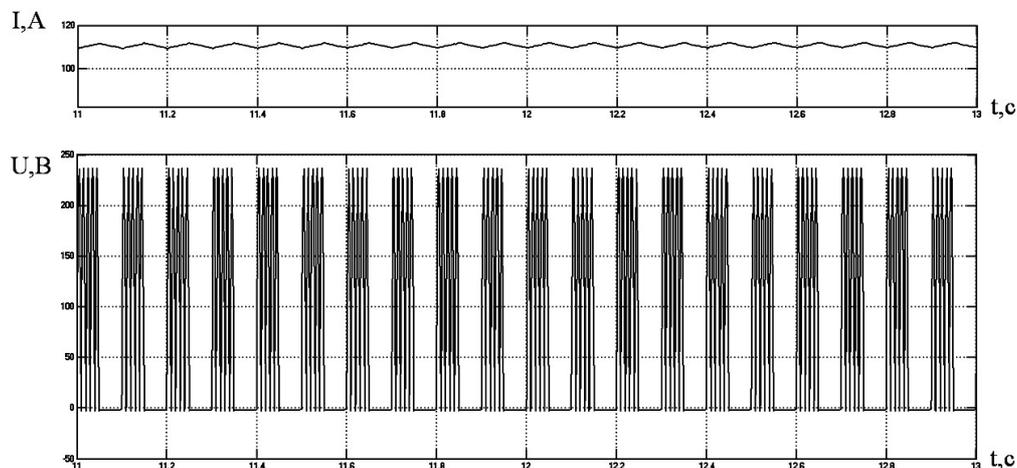


Рисунок 3 – Ток и напряжение обмотки возбуждения двигателя СТД-8000-2 при регулировании с количеством полупериодов равным пяти в цикле с 10 полупериодами

Охарактеризовать низкие гармоники в кривой тока можно при помощи коэффициента пульсаций тока. Чем больше цикл и меньше количество полупериодов в цикле, тем коэффициент пульсаций тока становится больше. По ГОСТ Р 51317.4.17-2000 допустим ток с коэффициентом пульсаций меньше 15%. Этому условию удовлетворяет регулирование с количеством полупериодов в цикле равном 10, 20, 30 и 40. Коэффициенты пульсаций тока для этих случаев равны 1,4%; 3,2%; 7,7% и 13,8% соответственно.

**Вывод:** Проведенные серии расчетов показали, что релейное регулирование может обеспечить все эксплуатационные нормальные режимы работы синхронной машины и режим форсирования возбуждения при наличии рабочего и форсировочного преобразователя.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники. Ч.1 / Г.С. Зиновьев. -Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. -199 с.

2 Толстов, Г.Ш. Ряды Фурье / Г.Ш. Толстов. -М.: Наука, 1980. -390 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** релейное управление преобразователями

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Тонышев Владимир Федорович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Николаев Виктор Александрович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОМАГНИЧИВАНИЯ ЖИДКОСТИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.И. Елшин, С.Ю. Ивликов

**ELECTROMAGNETIC CHARACTERISTICS OF THE DEVICE FOR INFLUENCING LIQUIDS**  
«Novosibirsk state academy of water transport»

A.I. Elshin, S.Yu. Ivlikov

The deals with mathematical model and electromagnetic characteristics. Results are created on the basis of the electrodynamics. The method recurrent parities be applied. The extremal electromagnetic characteristics are investigated. The analyze of the power factors influencing environment is given.

Приведена математическая модель для исследования электромагнитных характеристик, созданная на основе уравнений электродинамики с применением метода рекуррентных соотношений. Ис-

следованы характеристики предельных электромагнитных нагрузок и дан анализ силовых факторов, воздействующих на омагничиваемую среду.

В системах нагрева жидкости в процессе эксплуатации проявляется один из существенных недостатков: отложение накипи на теплоотдающих поверхностях трубопроводов, что значительно сокращает срок службы и надёжность нагревательного оборудования. Снижение интенсивности накипеобразования требует специальных методов водоподготовки и профилактической обработки рабочих поверхностей в периоды останова тепловой системы [1].

Решение проблемы накипеобразования в установках для нагрева воды оказалось возможным в системах с индуктивно-кондуктивными нагревателями, создающими одновременно с нагревом и омагничивающее воздействие на жидкость. Это явление было обнаружено при эксплуатации первых образцов нагревателей для систем отопления и горячего водоснабжения. Оказалось, что совместное действие теплового потока и переменного электромагнитного поля обеспечивает условия объёмной коагуляции взвешенных в воде частиц, легко отделяемых в отстойник. Продукты различных химических элементов формируются в виде мелкодисперсного соединений в объёме жидкости без отложения накипи на внутренних поверхностях трубопроводов и радиаторов системы отопления. Одновременно с этим, во всей системе исключено формирование гальванических пар постоянного тока, способствующих возникновению коррозионных центров.

Данное явление положило начало созданию принципиально нового вида технологического оборудования – установок индукционного типа для омагничивания жидкости с целью удаления из воды накипеобразующих примесей при водоподготовке в энергетике, переработки жидких промышленных отходов, обработки воды в пищевой промышленности, в строительной индустрии (для приготовления бетонов) и других технических целей.

В настоящей работе приводятся результаты исследования электромагнитных характеристик омагничивающего устройства, эффективно функционирующего на переменном токе [2]. В этом приборе при высоких энергетических характеристиках ( $\cos \varphi = 0,98$ ) удаётся получать достаточные для обработки жидкостей напряжённости магнитного поля не только в отдельных точках, но и во всей рабочей зоне с однонаправленным силовым воздействием на ферромагнитные частицы.

Создание математической модели омагничивающего устройства осуществляется на основе представления коаксиальных цилиндров со сложной конфигурацией и нелинейными электрофизическими характеристиками материалов и омагничиваемой среды (с магнитными и немагнитными свойствами), в виде совокупности чередующихся однородных сред. Поверхности сред параллельны координатным плоскостям, в пределах которых можно осуществить аппроксимацию нелинейных параметров и найти решения для напряженностей электромагнитного поля на базе уравнений электродинамики.

В устройстве выделены три характерные зоны:

- первая R1 – стержень;
- вторая R1-R2 – омагничиваемая среда;
- третья R2-R3 – оболочка.

С помощью математической модели произведена оценка влияния характеристик металла и предельно допустимых величин электромагнитных нагрузок на геометрические размеры, распределение параметров поля и силового воздействия на частицы, растворенные в воде.

Уравнения Максвелла относительно векторов напряжённости электрического и магнитного полей в общем случае при гармонических источниках имеют вид:

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \dot{H}_m = \hat{\gamma} \dot{E}_m + j\omega \varepsilon \varepsilon_0 \dot{E}_m; \operatorname{div} \dot{H}_m = 0; \\ \operatorname{rot} \dot{E}_m = -j\omega \mu \mu_0 \dot{H}_m; \operatorname{div} \dot{E}_m = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Граничные условия определяются непрерывностью касательных составляющих напряженностей поля и по оси стержня принято

$$\dot{H}_o = 0; \dot{E}_o = C_T,$$

а на внешней поверхности оболочки  $\dot{H}_{\text{вн}} = 0$ .

Считая удельные электрические сопротивления и магнитные проницаемости элементов системы постоянными и разрешая систему уравнений (1) в цилиндрической системе коор-

динат относительно аксиальной составляющей напряженности электрического поля, получим

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial r} + k^2 E_z = 0, \quad (2)$$

где  $k^2 = -j\omega\mu\gamma + \varepsilon\mu\omega^2$ .

Общее решение уравнения (2) представим в виде комбинации бесселевых функций 2-го рода нулевого порядка

$$E_z = C_1 J_0(kr) + C_2 N_0(kr). \quad (3)$$

Общее решение для тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля получим из второго уравнения системы (1) с учетом (3)

$$H_\alpha = \frac{1}{j\omega\mu\gamma} [C_1 J_1(kr) + C_2 N_1(kr)]. \quad (4)$$

Опуская в дальнейшем индексы «z» и «α» и исключая постоянные интегрирования по методу рекуррентных соотношений [3], найдем зависимость выходных характеристик поля на поверхности с внешним радиусом  $R_{i+1}$  элементарного цилиндрического слоя толщиной  $dr$  от входных на поверхности с внутренним радиусом  $R_i$ .

$$E_{i+1} = E_i A_{11} + H_i A_{12}; H_{i+1} = E_i A_{21} + H_i A_{22}. \quad (5)$$

Коэффициенты системы уравнений (5) имеют следующий вид

$$A_{11} = 1 + \frac{(k dr)^2}{2} + \frac{k^2 dr^3}{6R_i}; A_{12} = j\omega\mu dr \cdot \left[ 1 + \frac{dr}{2R_i} - \frac{(k dr)^2}{2} + \frac{dr^2}{6R_i^2} \right]; \quad (6)$$

$$A_{21} = \frac{-1}{j\omega\mu} k^2 dr \left[ 1 - \frac{dr}{2R_i} - \frac{(k dr)^2}{2} + \frac{dr^2}{6R_i^2} \right]; A_{22} = 1 - \frac{dr}{R_i} + \frac{(k dr)^2}{2} + \frac{k^2 dr^3}{3R_i} - \frac{dr^3}{6R_i^3}.$$

Используя рекуррентные соотношения и задавая начальные значения величин, численным методом можно найти распределение параметров  $E$  и  $H$  в функции радиуса в стержне, омагничиваемой среде и оболочке. На каждом последующем шаге счета есть возможность корректировки электрофизических параметров среды по состоянию на предыдущем шаге, которые связаны с изменением величин поля. На рисунке 1 приведены характеристики магнитной и электрической напряженностей в исследуемой системе в относительных единицах. В качестве базисных величин электромагнитного поля приняты значения на поверхности стержня.

В рабочей зоне максимальная магнитная напряженность имеет место на поверхности стержня, минимальная - на внутренней поверхности оболочки. Направление градиента напряженности магнитного поля перпендикулярно направлению движения жидкости, поэтому пондеромоторные силы создадут центростремительное ускорение ферромагнитных частиц во всей зоне магнитной обработки жидкости, обеспечивая благоприятные условия для интенсивной коагуляции в области с максимальной напряженностью.

Аксиальная составляющая электрической напряженности, как видно из графика, имеет нелинейную зависимость в стержне и оболочке, что связано с проявлением эффекта вытеснения тока. В рабочей зоне электрическая напряженность при определенном радиусе меняет свой знак на противоположный, оставаясь практически линейной функцией от радиуса. Оставляя в стороне рассмотрение воздействия электрической напряженности на заряженные частицы, отметим наличие в рабочей зоне области с нулевой напряженностью.

По известным характеристикам электромагнитного поля на основании теоремы Умова-Пойнтинга рассчитываются комплексные сопротивления, отыскиваются интегральные параметры индукционной установки: величина магнитной индукции и магнитный поток в кольце-

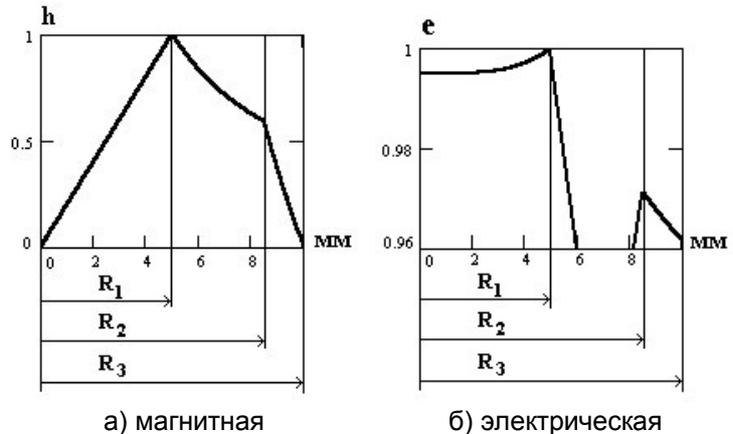


Рисунок 1 – Модули напряженностей электромагнитного поля

вом канале установки, распределение силы, мощность, коэффициент мощности и тепловой поверхностный поток.

Как известно, при процессах, связанных с воздействием на частицы, обладающими теми или иными магнитными свойствами (например, удержание, магнитная фильтрация, магнитная коагуляция, магнитная сепарация и т.д.), используется статическая составляющая магнитного поля. В неоднородном в пространстве и во времени магнитном поле на магнитный диполь ферромагнитной частицы действует пондеромоторная сила, возникающая в результате раскомпенсации сжимающих сил. Величина этой силы прямопропорциональна как величине напряженности, так и ее градиенту

$$F = \chi H \cdot \text{grad } H, \quad (7)$$

где  $\chi$  – магнитная восприимчивость среды.

С целью достижения максимальной эффективности воздействия на ферромагнитные частицы необходимо формирование в рабочей зоне установки условий для проявления экстремальных значений напряженности и ее градиента. Такие условия могут быть созданы в исследуемом устройстве для омагничивания.

На рисунке 2а приведены характеристики модулей магнитной напряженности и ее градиента в относительных единицах в рабочей зоне, полученные численным дифференцированием расчетных данных. На рисунке 2б представлена зависимость силы, действующей на ферромагнитные частицы, в функции радиуса.

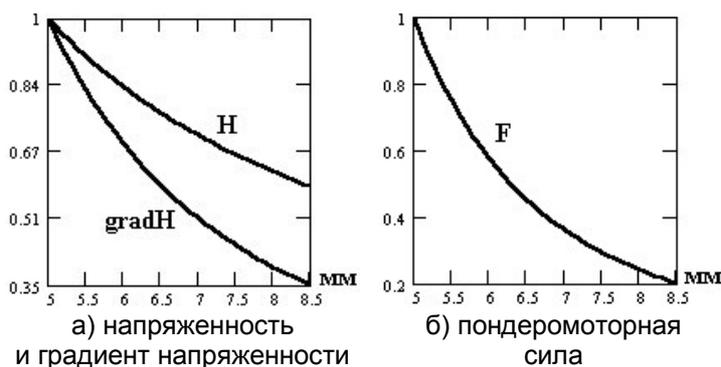


Рисунок 2 – Силовые параметры устройства

Для всех величин отмечается одинаковый характер изменения в радиальном направлении, отличающийся непрерывностью функции напряженности, градиента напряженности и силы с максимальным значением в пристенной области стержня, что свойственно только для данной системы омагничивания. Следовательно, устройство для омагничивания, выполненное в виде коаксиального сопряжения стержня и оболочки является наиболее приемлемой с точки зрения формирования рабочей зоны с максимальным воздействием на ферромагнитные частицы.

Исследование электромагнитного процесса в новых системах омагничивания жидкости позволяет получить информацию о предельных значениях электромагнитных нагрузок в устройстве при использовании современных материалов. Результаты анализа свидетельствуют о возможности формирования интенсивных магнитных полей не только в отдельных точках омагничиваемого пространства, но и во всей рабочей зоне. Существенным отличительным свойством предлагаемого аппарата для магнитной обработки жидкости является обеспечение однонаправленного действия силового фактора на ферромагнитные частицы при движении в зоне магнитной обработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Классен, В.И. Омагничивание водных систем / В.И. Классен. -М.: Наука, 1982. -296 с.
- 2 Пат. 2046421 Российская Федерация, С1. Устройство для омагничивания жидкости / Елшин А.И. // Открытия. Изобретения. -1995. -№29.
- 3 Елшин, А.И. Метод расчета двумерного электромагнитного поля в проводящей среде / А.И. Елшин // Науч. вестн. НГТУ. -Новосибирск, 1999. -№2 (7). -С. 61-77.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: омагничиваемая среда, магнитная напряженность поля

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Елшин Анатолий Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГавТ»  
Ивликов Сергей Юрьевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГавТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавТ»

## ЭЛЕКТРОТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ ОМАГНИЧИВАТЕЛЯ ЖИДКОСТИ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.И. Елшин, С.Ю. Ивликов

ELECTROTHERMAL MODEL FOR INFLUENCING LIQUIDS ON AN ALTERNATING CURRENT

«Novosibirsk state academy of water transport»

A.I. Elshin, S.Yu. Ivlikov

The article covers the electrothermal model and interconnected electrical and thermal characteristics. Results are created on the basis of the heat conductivity equation Fourier. The method recurrent parities be applicated. Temperature characteristics by active element influencing environment are investigated. The analyze of the power consumption influencing environment is given.

Приведена электротепловая модель для исследования взаимосвязанных электрических и тепловых характеристик, созданная на основе уравнения теплопроводности Фурье с применением метода рекуррентных соотношений. Исследованы температурные характеристики активного элемента омагничивателя и дан анализ удельных характеристик расхода энергии, воздействующей на омагничиваемую среду.

Стержень омагничивателя переменного тока на промышленной частоте является источником тепла, выделяемого при протекании значительного электрического тока, что способствует разогреву воды, уменьшению ее вязкости и повышению подвижности частиц и примесей в жидкости.

В рассматриваемой установке охлаждение рабочей зоны осуществляется непосредственно омагничиваемой средой, что значительно упрощает конструкцию изделия и его эксплуатацию. В то же время предельные электромагнитные нагрузки будут определяться максимально возможным уровнем перегрева поверхности стержня по отношению к жидкости.

Найдем распределение температурного поля в стержне при различной электрической нагрузке и определим удельные энергетические потоки. Для этого составим расчетную тепловую модель при следующих допущениях и упрощениях:

1 Систему считаем осесимметричной с радиальным направлением теплового потока от оси стержня к внешней цилиндрической поверхности и пренебрежем теплопередачей вдоль оси.

2 Теплофизические параметры сред приняты постоянными в исследуемом интервале шага по координате  $r$ .

Для исследования теплового процесса принята методология анализа на основе аналитически-численного метода с применением рекуррентных соотношений для функции температуры и ее производной. Решение задачи отыскивается на основании уравнения теплопроводности Фурье для стационарного режима.

Исследование температурного поля во всей области проводим по уравнению Лапласа в цилиндрической системе координат

$$\Delta T = 0. \quad (1)$$

Общее решение уравнения (1)

$$T = C_1 + C_2 \ln|r|, \quad (2)$$

позволяет, исключая постоянные интегрирования, получить рекуррентные соотношения на элементарном шаге для функции температуры и ее производной

$$T_{i+1} = T_i + \left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)_i r_i \ln \frac{r_i + dr}{r_i}; \left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)_{i+1} = \left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)_i \frac{r_i}{r_i + dr}. \quad (3)$$

Здесь  $dr$  – элементарный шаг интегрирования, в пределах которого теплофизические параметры принимаются постоянными. Следовательно, среда представляется многослойной и при расчете температуры в последующем слое используются теплофизические характеристики среды, принятые по выходным данным расчета предыдущего слоя, что позволяет с достаточной точностью приближения учитывать нелинейные свойства сред.

В слоях стержня с внутренним тепловыделением источники тепла в пределах шага рассматриваются сосредоточенными на цилиндрических бесконечно тонких поверхностях, расположенных посередине шага (рисунок 1).

Это дает возможность исследовать температурное поле во всей области по уравнению Лапласа, «сшивая» решения по производной температуры с учетом скачка на величину расчетной поверхностной плотности теплового потока элементарного подслоя

$$q_i = q_v \, dr \frac{l}{\lambda_c},$$

где  $q_v$  – удельные объемные источники тепла, определяемые величиной плотности электрического тока в данном подслое

$$q_v = 2\delta\rho;$$

$\lambda_c$  – коэффициент теплопроводности среды.

Начальные и граничные значения температуры и ее производной принимаем в соответствии с условиями задачи.

1 На оси стержня с координатой  $r=0$  задаем начальные значения температуры и производной

$$T(0) = T_0; \left(\frac{\partial T}{\partial r}\right) = 0. \quad (4)$$

2 В зоне стержня при переходе через поверхность с источником тепла  $q_i$  условия сопряжения при непрерывности температуры имеют вид

$$-\left(\frac{\partial T_{1c}}{\partial r}\right) = -\left(\frac{\partial T_{2c}}{\partial r}\right) + q_i. \quad (5)$$

3 На границе раздела стержень-среда  $r = R_1$  используем граничное условие третьего рода

$$\lambda_\theta \left(\frac{\partial T}{\partial r}\right) + \alpha(T_c - T_0) = 0, \quad (6)$$

где  $T_c, T_0$  – температуры поверхности стержня и омагничиваемой среды соответственно;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи с поверхности.

Исследование тепловой модели производится численным методом. Количество итераций связано с точностью решения задачи, в качестве критерия которой является равенство тепловой энергии, выделенной стержнем при протекании электрического тока и воспринимаемой омагничиваемой средой. Использование метода рекуррентных соотношений позволяет рассчитывать температурное поле послойно, вводя в расчет функциональную зависимость теплофизических параметров от температуры.

Рассчитаем поле температур медного стержня в установившемся режиме:

- размеры: радиус поверхности стержня,  $R_1 = 5$  мм;
- электрические параметры: ток стержня,  $I = 2000$  А; активная мощность,  $P = 850$  Вт;
- теплотехнические характеристики: коэффициент теплоотдачи с поверхности,  $\alpha = 1500$  Вт/(м<sup>2</sup>·К); коэффициент теплопроводности материала стержня (медь)  $\lambda_{us} = 384$  Вт/(м·К); превышение температуры,  $\Delta T = 18$  К.

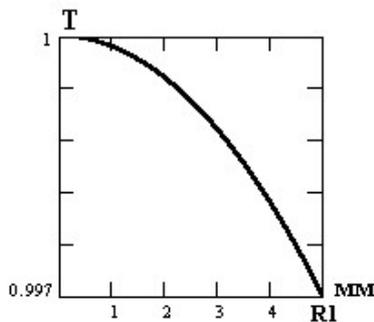


Рисунок 2 – Распределение температуры в стержне

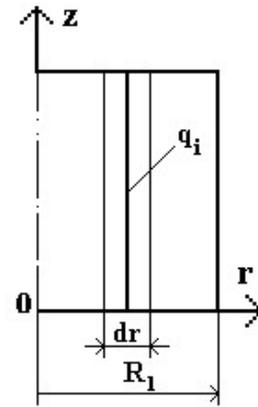


Рисунок 1 – Поверхностные источники тепла в стержне

На рисунке 2 представлена зависимость температуры в стержне при соблюдении граничных условий и баланса тепловой мощности в установившемся режиме. Распределение температуры в стержне обусловлено воздействием внутренних источников, причем удельное объемное тепловыделение вдоль радиуса неравномерно, что является следствием поверхностного электрического эффекта при протекании переменного тока.

Уровень максимальной напряженности магнитного поля в рабочей зоне (на поверхности стержня) определяется предельным значением плотности тока, а, следовательно, величиной активной мощности, выделяемой в стержне. Для надежного функционирования необходимо сохранение теплового баланса в процессе омагничивания жидкости в стационарном режи-

ме. Положив в основу анализа уравнение теплового равновесия и используя расчетные зависимости параметров электромагнитного поля в зоне стержня с целью определения активной мощности, произведем оценку влияния свойств металла на величину предельного значения магнитной напряженности в функции от радиального размера  $R_1$  стержня (рисунок 3).

Здесь принято: превышение температуры стержня над температурой среды  $\Delta T = 60$  К; коэффициент теплоотдачи  $\alpha = 2500$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Интенсивность омагничивания при использовании меди в качестве металла стержня достигает 200 кА/м, что позволяет утверждать о возможности создания высокоэффективного устройства для обработки жидкости переменным магнитным полем. Одновременно с этим, на рисунке 4 продемонстрирован удельный расход активной мощности на единицу длины устройства, необходимый для создания соответствующей напряженности.

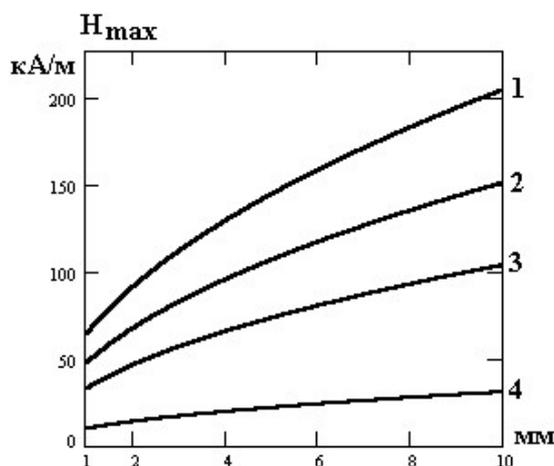


Рисунок 3 – Напряженность на поверхности стержня: 1-медь; 2-алюминий; 3-латунь; 4- нержавеющая сталь

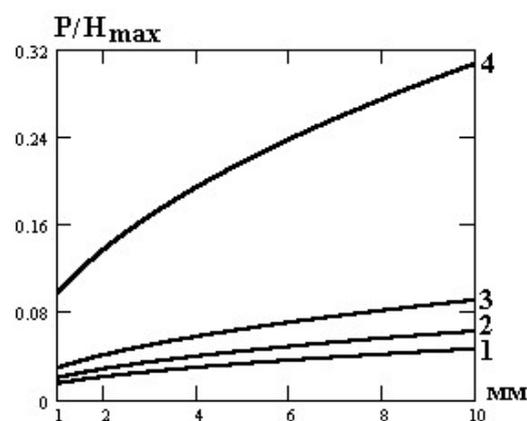


Рисунок 4 – Удельные характеристики

Явным преимуществом обладает устройство с медным стержнем и затраты существенны при использовании нержавеющей стали в качестве материала омагничивателя.

На основе анализа технических характеристик омагничивателя на переменном токе с помощью разработанной математической электротепловой модели может быть решена задача оптимизации конструктивного исполнения нового оборудования для индукционного омагничивания жидкости в различных областях промышленности и быта.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электротепловая модель, температурное поле, теплопроводность, поверхностные источники тепла, коэффициент теплоотдачи

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Елшин Анатолий Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Ивликов Сергей Юрьевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ И ОЦЕНКА ИХ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Б.В. Палагушкин, Ю.В. Демин, А.И. Мозилов

RESEARCH OF A CONDITION OF FERRO-CONCRETE DESIGNS OF SUPPORT ELECTRIC AIR-LINES AND AN ESTIMATION OF THEIR BEARING ABILITY

«Novosibirsk State academy of water transport»

B.V. Palagushkin, Yu.V. Demin, A.I. Mozilov

In the article it is shown that examples of homogeneous (uniform) destructions are physically caused by homogeneous conditions. Uniform destruction MS is reached or at the expense of functioning of macropairs commensurable among themselves on density of an anode current on MS. Local destructions FROM arise in the presence of non-uniform conditions when macrostreams from any factor are dominating (for example, steams of differential aeration) among other macropairs.

В исследованиях состояния железобетонных конструкций нужно подчеркнуть, что примеры однородных (равномерных) разрушений физически обусловлены однородными условиями. Равномерное разрушение искусственных заземлителей (ИЗ) достигается либо за счет функционирования макропар соизмеримых между собой по плотности анодного тока на ИЗ. Локальные разрушения ИЗ возникают при наличии неоднородных условий, когда макропары от какого-либо фактора являются доминирующими (например, пары дифференциальной аэрации) среди других макропар.

Важнейшими параметрами, характеризующими работоспособность железобетонных опор ВЛ.) являются прочностные свойства конструкций и срок их службы.

Методику определения состояния железобетонных электросетевых конструкций (ЭК) рассмотрим на примере оценки состояния фундаментов ВЛ 1150 кВ «Экибастуз-Барнаул».

Прочностные свойства фундаментов определялись с использованием метода пластических деформация (молоток Кашкарова) и методом ультразвуковой диагностики (дефектоскоп УК-10П.

Молоток Кашкарова использовался для частей ЭК со значительными коррозионными разрушениями, где нельзя использовать ультразвуковой контроль. О величине прочности судят по соотношению величины отпечатка на эталонном образце и на поверхности исследуемой ЭК. Твердость поверхностного слоя ( $T_e$ ), определяется выражением

$$T_e = H_m \frac{d^2}{D^2},$$

где  $H_m$  – твердость эталонного образца по Майеру;

$d$  – вдавливания на эталоне;

$D$  – то же на ЭК.

При использовании ультразвука применялся сквозной метод прозвучивания. Датчики устанавливались с противоположных сторон фундамента. Скорость распространения ультразвука определялась на основе

$$V = \frac{l}{t}, \text{ м/с,}$$

где  $t$  – время распространения ультразвука, с;

$l$  – база прозвучивания (ширина оголовника), м.

Прочность фундамента определялась по формуле

$$R = qV^4,$$

где  $q$  – определяется по данным испытаний не менее чем на 3-х кубах или кернах, так как первоначального  $R_{сж}^{q_0}$  на обследуемой ЭК нет, то  $q$  определялся на заводе изготовителе,

$$q = \frac{R_{сж}^{q_0}}{V^4}.$$

При обследовании фундамента для обеспечения надежного контакта между бетоном и рабочей поверхностью ультразвуковых преобразователей использовался солидол. Прозвучивание осуществлялось датчиками  $f = 100$  кГц в направлении перпендикулярном уплотнению бетона. Датчики устанавливались на высоте 20-30 см над уровнем грунта в 3-х точках для каждого фундамента.

За основной метод определения прочностных свойств бетона был принят ультразвуковой метод, так как погрешность измерения времени распространения не превышает  $\pm 1\%$ .

По приведенной методике обследовались также и усиленные фундаменты.

*Исследование характеристик фундаментов.* Зачастую причиной разрушения бетонных конструкций является назначение состава бетона только по прочности учета условий его работы в конкретных условиях, поэтому возникает необходимость проводить испытания по оценке изменения тех или иных свойств бетона под воздействием агрессивных факторов.

С этой точки зрения характеристикой первостепенной важности для цементных материалов является – пористость.

Именно на этом уровне проявляются те свойства бетона, которые определяют его способность противостоять многим коррозионным воздействиям, а также замораживанию и оттаиванию.

Именно в поровом пространстве развиваются указанные процессы. Формы пор в структуре бетона многообразны от нескольких ангстрем до миллиметров.

Для характеристики поровой структуры бетона усиленных фундаментов на трассе ВЛ 1150 кВ были отобраны пробы и выполнены программы (методом ртутной пирометрии) для ряда фундаментов (таблица 1).

*Таблица 1 – Распределение пор обследованных фундаментов на трассе ВЛ 1150 кВ «Экибастуз-Барнаул»*

Номер фундамента	Группа пор*	% пор данного радиуса
259	1	17
	2	43
	3	40
972	1	15
	2	35
	3	50
1452	1	3
	2	64
	3	33
1632	1	0
	2	70
	3	30

\*-1 группа пор – ультрамикropоры с радиусом меньше 500 Å; 2 группа – микropоры с радиусом 50-1000 Å (переходные); 3 группа – микropоры с радиусом 1000 Å, в которых основное количество воды свободно (такие поры являются основными путями перемещения жидкой и газообразной фаз в бетоне)

Опираясь на данные таблицы 1 и 2, можно сделать вывод, что с виду преобладания (более 33%) групп 2 и 3, эти структуры обусловлены коррозионно-уязвимыми. Эти данные полностью соответствуют прочностным характеристикам данных фундаментов (бетон ниже проектной марки). Необходимо отметить то, что бетоны данных фундаментов не являются морозостойкими, следовательно, они будут подвергнуты разрушению даже вне коррозионной среде.

*Таблица 2 – Характеристика материала в зависимости от преобладающей группы пор*

Преобладающая группа пор	Структура	Материал
1	Особо плотная	Цементный камень из теста нормальной густоты
2	Диффузионная и капиллярная проницаемость	Плотные цементные растворы (цемент-песок 1:1, 1:2, В/Ц = 0,3)
1, 2	Плотная	
3	Проницаемая	В/Ц = 0,6 (1:3)
1, 3	Пористая с плотным каркасом	Газобетон
2, 3	Проницаемая	В/Ц = 0,6 (1:3) и более

*Расчет срока службы железобетонных ЭК в агрессивных условиях.* Существуют различные методики расчета срока службы ЖБК. Наиболее точными являются методы, основанные на многофакторных моделях (см. таблица 2).

Однако в реальных условиях не всегда представляется возможным использовать указанные зависимости. Это объясняется отсутствием представительной статистики для того региона, где предполагается использовать эти расчеты.

Например, для расчета долговечности фундаментов ВЛ 1150 кВ можно использовать зависимость

$$\tau = \frac{(L/1,25)^2}{K}, \quad (1)$$

где  $L$  – глубина коррозионного повреждения, см;

$K$  – коэффициент агрессивности среды с учетом свойств бетона, см<sup>2</sup>/ч;

$\tau$  – время эксплуатации конструкции, ч.

Из таблицы 1 для расчета долговечности выберем фундамент №259, находящийся в агрессивных условиях. Расчет  $\tau$  по уравнению (1) дает срок службы приблизительно 4,5 года (таблица 3). Однако этот расчет не учитывает морозостойкость.

Теперь произведем расчет при условии, что  $V/C = 0,3$  (плотные структуры), в этом случае срок службы составит приблизительно 18 лет.

*Таблица 3 – Пример расчета срока службы фундамента*

Фундамент*	Концентрация раствора, мг/л	V/C	L, см	K · 10 <sup>4</sup> , см <sup>2</sup> /ч	Время, τ	
					ч	лет
259	600	0,6	2,5	11	3636	4,5
		0,3	2,5	2,5	16000	18,0

\*-фундамент находится в агрессивных условиях (по СНиП 2.03.11-85) – сильная агрессия по SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (0,386%) и слабая агрессия по Cl<sup>-</sup> (0,016%).

Прочность бетона на момент обследования составила – 116 кгс/см<sup>2</sup>. Необходимо отметить, что указанная методика может быть использована и для других железобетонных ЭК (опор ВЛ, стоек типа УСО и т.п.).

*Оценка несущей способности дефектных железобетонных опор ВЛ.* На практике в настоящее время применяют в основном замену и реже ремонт дефектных опор. Наиболее актуальны вопросы повышения надежности работы опор ВЛ распределительных сетей 0,4-10 кВ. Это обусловлено использованием для их изготовления наименее коррозионно-стойкого материала – вибрированного бетона. При восстановлении несущей способности опор ВЛ 0,4-10 кВ и продления их службы необходимо решить целый комплекс вопросов: проанализировать состояние конструкций, классифицировать их по дефектности, рассчитать остаточную от первоначальной прочность конструкции для различных видов дефектных опор.

Массовые обследования фактического состояния железобетонных ЭК позволили классифицировать их по дефектности (таблица 4). Методически для каждого вида дефектности конструкций определялись: наличие и характер дефектов (длина и ширина трещин), прочность бетона (методом пластических деформаций с помощью молотка Кашкарова и метод ультразвуковой диагностики с помощью дефектоскопа УК-10П), количество арматурных стержней и степень их коррозии. Для каждого вида дефектности опор определялась степень их аварийности поверочными расчетами по методу разрушающих нагрузок на основании фактических данных.

*Таблица 4 – Классификация ЖБ опор ВЛ 10 кВ по дефектности (по данным ПО «Туркменэнерго») и дефектных опор ВЛ 10 кВ*

Характеристика	Ширина раскрытия трещин, мм		
	0,5	0,5-1,0	1,0
Длина трещин, м	0,2-0,5	0,5-1,0	вдоль всей арматуры
Прочность бетона, кгс/см <sup>2</sup>	100-363	80-372	153-418
Коррозия арматуры, %	5-10	10-30	30

На примере опор СВ105-3,5 (таблица 5), эксплуатируемых в ПО «Туркменэнерго», рассмотрим методику оценки несущей способности дефектных опор ВЛ 10 кВ. Исходные данные для расчета приведены в таблице 6.

*Таблица 5 – Характеристика опоры СВ 105-3,5 (длина стойки 10,5 м)*

Характеристика, единица измерения	Численное значение
Класс бетона	B25 (M300)
Масса стойки, т	1,18
Соппротивление бетона на сжатие (расчет) кгс/см <sup>2</sup>	148
Расчетное сопротивление арматуры, кгс/см <sup>2</sup>	
– растяжение	8300
– сжатие	5100

*Таблица 6 – Исходные данные для расчета (провод АС-70/II, пролет 75 м)*

Характеристика, единица измерения	Район строительства (ветер/гололед)		
	III/III	III/IV	IV/IV
Нагрузка ветра, дан/м <sup>2</sup>	50	50	65
Гололед, мм	10	15	15
Расчетные изгибающие моменты, кН·м	31	36	36

В соответствии со СНиП 2.03.01-84 оценка несущей способности ЖБК производится по предельному состоянию 1-ой группы (расчет по прочности) и по предельному состоянию 2-ой группы (расчет по трещиностойкости).

*Расчет по прочности.* Отсутствие аварийности конструкции подтверждается, если несущая способность элементов превышает не менее чем в 1,5 раза соответствующее усилие от внешней нагрузки при

$$\alpha = \frac{A_s R_s}{\epsilon h_0 R_e} k_{зап} \leq 0,3, \quad (2)$$

где  $\epsilon$  – ширина сечения;

$h_0$  – высота от грани до растянутой арматуры;

$R_e$  – призмная прочность на скатке (берется на фактических данных по обследованию);

$A_s$  – площадь сечения арматуры с учетом коррозии, для арматуры 4 12А равна 2,262 см<sup>2</sup>;

$R_s$  – расчетное сопротивление арматуры, принимается 5300 кгс/см<sup>2</sup>;

$k_{зап}$  – коэффициент запаса (таблица 7);

Момент воспринимаемый сечением в заделке должен быть

$$M \leq R_s A_s \left( h_0 - 0,5 \frac{R_s A_s}{\epsilon R_e} \right) \quad (3)$$

Примеры расчеты прочности опор ВЛ 10 кВ, эксплуатируемых в системе ПО «Туркменэнерго», приведены в таблице 7

Таблица 7 – Пример расчета прочности дефектных опор ВЛ 10 кВ (по данным ПО «Туркменэнерго»)

Фактические данные			$k_{зап}$	Изгибающий момент, кН·м		
ширина трещин, мм	коррозия арматуры, %	прочность бетона, кгс/см <sup>2</sup>		фактический	расчетный III/IV	расчетный IV/IV
1	15	194,0	0,123	22,50	37,20	43,20
3	30	220,5	0,089	18,84	37,20	43,20
1	3	364,0	0,075	41,40	37,20	43,20

*Расчет по трещиностойкости.* Величина раскрытия трещин для ЖБК эксплуатируемых на открытом воздухе и в грунте для второй категории трещиностойкости (требуемых для опор) должна быть  $a_{arc} = 0,2$  мм (СНиП 2.03.01-84). На обследуемых опорах раскрытие трещин составило 6 мм, поэтому необходима проверка напряжения в растянутой арматуре

$$\sigma_s = \frac{M}{z \cdot A_s}, \quad (4)$$

где  $z$  – расстояние между осями сжатой и растянутой зоны, равное 22,8 см;

$M$  – момент внешних сил (см. таблицу 7).

$$a_{arc} = \delta \phi_e \lambda \frac{\sigma_s}{E_s} 20 (3,5 - 100 \bar{\mu}_s)^{\sqrt[3]{d}}; \quad (5)$$

$$\bar{\mu}_s = \frac{A_{Sp} A_s}{\epsilon h}$$

где  $\delta$  – коэффициент, равный для нагибаемых элементов  $\delta = 1$ ;

$\phi_e$  – коэффициент, равный при переменном водонасыщении и высушивании,  $\phi_e = 1,75$ ;

$\lambda$  – коэффициент, равный для арматуры периодического профиля,  $\lambda = 1$ ;

$A_{Sp}, A_s$  – площадь сечения для напрягаемой арматуры соответственно;

$d$  – диаметр арматуры с учетом коррозии.

Примеры расчета по трещиностойкости дефектных ВБ опор ВЛ 10 кВ, эксплуатируемых в системе ПО «Туркменэнерго», приведены в таблице 8.

Наиболее характерными коррозионными разрушениями являются разрушения опор, за счет физической коррозии бетона. Данный вид коррозии является определяющим для регионов с жарким климатом и засоленными грунтами (в основном  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ): Туркмения, Узбе-

кистан, север Таджикистана, Казахстан, солончаковые районы России. При этом характерно зональное разрушение опор ВЛ 0,4-10 кВ. Наиболее значительное разрушение бетона происходит на участке 0,5 м ниже уровня грунта – 2,0 м выше уровня грунта. Поэтому актуальными исследованиями являются те, которые направлены на повышение долговечности лишь отдельной части опоры ВЛ. Такое техническое решение, в конечном счете, приводит и к повышению долговечности конструкции в целом. Необходимым условием успеха различных технических решений, направленных на повышение методики расчета срока службы является наличие методики расчета срока службы. Разработанная методика расчета службы опор ВЛ 0,4-10 кВ обладает рядом преимуществ по сравнению с существующими методиками расчета долговечности, в частности, использованного материала и т.д. Данная методика была опробована для составления карт долговечности опор ВЛ 0,4-10 кВ для Туркмении.

*Таблица 8 – Пример расчета по трещиностойкости дефектных опор ВЛ-10 кВ (по данным ПО «Туркменэнерго»)*

ширина трещин, мм	Фактические данные		Напряжение в арматуре, кгс/см <sup>2</sup>	
	коррозия арматуры, %	диаметр арматуры, мм	фактическое	расчетное
1	15	12	8979	5300
3	30	12	28078	5300

Как видно из таблиц 9 и 10, грубых отклонений нет, потому что для всех выборок  $Y_1 < Y_0$ , так как  $B = 0,8108 < X_{0,9}^2 = 2,7$ , то дисперсии всех выборок однообразны.

На основании неравенства  $F_{расч} = 0,44 < F_{табл} = 2,8$  можно заключить, что однородны и средние значения по выборкам.

*Таблица 9 – Пример локальных разрушений ИЗ на ЗС ПО «Туркменэнерго»*

Тип грунта	Глубина расположения ИЗ, м	Глубина коррозии ИЗ, мм	Срок службы, лет	Степень коррозии
<b>Подстанции 110/35/10 «Котур-Депс»</b>				
Песок мелкий	0,35	0,122	15	5
Ил	0,4	1,26	15	2
Песок мелкий	0,3	0,114	15	5
Песок мелкий	0,7	0,145	15	5
<b>Подстанции 110/35/10 «Джебел»</b>				
Песок мелкий	0,45	0,553	13	4
Песок мелкий	0,45	0,276	13	5
Песок мелкий	0,45	0,367	13	4
Песок мелкий	0,45	3,0	13	0
<b>Подстанции 110/35 «Кызыл-Арват»</b>				
Супесь	1,0	3,28	12	0
Супесь	1,0	4,02	12	0
Тяжелая супесь	1,0	5,6	12	0
Тяжелая супесь	1,0	2,34	12	0

*Таблица 10 – Пример равномерных разрушений ИЗ на ОРУ-110 кВ ЦТЭЦ-2 Целинэнерго*

Срок службы, лет	Глубина коррозии ИЗ, мм	Степень коррозии	Сечение заземлителя, мм
2	0,010	5	60×5
2	0,034	5	60×5
2	0,012	5	60×5
5	0,239	4	30×5
5	0,168	5	40×4
10	0,427	4	40×4
10	0,059	5	40×4
10	0,154	5	30×5
10	0,109	5	20×4
10	0,147	5	40×4

При статистической обработке данных по коррозии ИЗ встречается и наличие неоднородности. Пример такого расчета приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Статистическая обработка данных

Величина	Численное значение
Число выборок	2
Расчетное значение критерия Бартлета	2,1489
Табличное значение критерия Пирсона, для $p = 0,1$	2,7
Расчетное значение критерия Фишера, $F_{расч}$	44,508
Табличное значение Критерия Фишера $F_{табл}$ , для $p = 0,05$	3,8

Так как,  $F_{расч} = 44,508 < F_{табл} = 3,8$ , то средние по выборкам нельзя считать однородными.

В таблице 12 дан пример расчета однородности дисперсий и средних, а также проверка наличия грубых отклонений.

Таблица 12 – Результаты расчета однородности дисперсий и средних

Величина	Число выборок			
	1	2	3	4
Расчетное значение квантиля нормального распределения	2,003	2,123	0,1122	1,333
Табличное значение квантиля нормального распределения	2,717			
Расчетное значение критерия Пирсона, для $p = 0,1$	0,8108			
Расчетное значение критерия Фишера, $F_{расч}$	0,4416			
Табличное значение Критерия Фишера $F_{табл}$ , для $p = 0,05$	2,8			

Анализ материалов обследований конструкций, находящихся в эксплуатации длительное время, позволяет сделать вывод о том, что значительная часть железобетонных опор ВЛ 0,4-10 кВ подвержена разрушениям. В отдельных регионах доля дефектных конструкций значительна, например, в среднем по Туркмении дефекты опоры ВЛ 0,4-10 кВ составляют 20-25%. Столь значительная дефектность объясняется в основном коррозионными разрушениями, а также в некоторых случаях низким качеством изготовления опор. Нужно подчеркнуть, что примеры однородных (равномерных) разрушений физически обусловлены однородными условиями. Равномерное разрушение ИЗ достигается либо за счет функционирования макропар соизмеримых между собой по плотности анодного тока на ИЗ. Локальные разрушения ИЗ возникают при наличии неоднородных условий, когда макропары от какого-либо фактора являются доминирующими (например, пары дифференциальной аэрации) среди других макропар.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** опоры воздушных линий электропередач, диагностика коррозионного состояния  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Палагушкин Борис Владимирович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГавт»  
 Дёмин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГавт»  
 Мозилов Александр Иванович, канд. техн. наук, соискатель ФГОУ ВПО «НГавт»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

## **ТЕОРИЯ ТЕПЛОМАССОБМЕНА КАК ОСНОВА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИМИ МЕТОДАМИ ЭНЕРГОПОДВОДА В ПРОЦЕССАХ СУШКИ УВЛАЖНЕННОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

**А.М. Худоногов, В.В. Сидоров, Е.М. Лыткина**

**THE THEORY OF THE EXCHANGE IN WEIGHT AND WARMTH AS THE BASIS OF AUTOMATION OF STEERING OF METHODS OF THE POWER SUPPLY SAVING UP RESOURCES IN PROCESSES OF DRYING OF THE HUMIDIFIED ISOLATION OF TRACTION ELECTRIC MOTORS OF THE ELECTROROLLING STOCK**  
 «Irkutsk state transport university»  
 A.M. Hudonogov, V.V. Sidorov, E.M. Lytkina

Substantive provisions of the theory of an exchange in weight and warmth in isolation of windings of traction electric motors on which base new management methods by a power supply in the course of its drying are offered are considered.

Рассмотрены основные положения теории тепломассообмена в изоляции обмоток ТЭД, на основании которых предложены новые методы управления энергоподводом в процессе ее сушки.

Статистические данные по надежности электрооборудования электровозов ВСЖД за последние пять лет показывают, что на долю тяговых электродвигателей (ТЭД) приходится более 35% всех неисправностей. Наиболее важным и уязвимым звеном ТЭД и аппаратов являются их обмотки. От 90 до 95 % всех отказов электрооборудования на электроподвижном составе (ЭПС) приходится на неисправности обмоток. В свою очередь в обмотках наиболее ненадежным элементом является их изоляция. В процессе эксплуатации изоляция обмоток ТЭД увлажняется и теряет свои диэлектрические свойства. Наибольшее количество повреждений тяговых электродвигателей наблюдается при повышенной влажности воздуха. Многие из них вызваны пробоем изоляции вследствие ее увлажнения. Количество случаев снижения сопротивления якорных и полюсных обмоток, а также пробоя и межвиткового замыкания обмотки якоря ТЭД заметно возрастает в холодные месяцы года, а именно с октября по апрель более 73% машин выходят из строя по пробоем изоляции. Одной из основных причин увеличения повреждаемости обмоток является вентиляция воздухом с высокой относительной влажностью, увлажнение изоляции при образовании на коллекторах и обмотках инея при постановке холодных электропоездов в отапливаемый цех и попадании снега.

Проблемам надёжности изоляционных конструкций электрических машин тягового подвижного состава посвящены труды таких учёных как А.В. Горский, А.А. Воробьёв, В.А. Четвергов, А.Д. Пузанков, М.Д. Глуценко, Г.М. Дурандин, А.С. Космодамианский, Е.Ю. Логинов, А.Т. Осяев, В.М. Пак, Н.А. Ротанов, Г.Г. Рябцев, А.С. Серебряков, В.С. Наговицин, В.Б. Кулаковский, Г. Кучинский, Ю.А. Полонский, С.Н. Койков, И.П. Гордеев, Т.Я. Глинка, П.М. Сви, Д. Вайда, М.Э. Борисова, Е.С. Согомоян, В.П. Феоктистов, В.Д. Авилов, В.В. Харламов, Ш.К. Исмаилов, В.П. Смирнов, М.А. Автаев, Н.Н. Капранов, П.Н. Шепелин и др. Однако до сих пор отсутствует системный подход к анализу основных физических явлений в изоляционных конструкциях с позиций теории тепломассообмена. Этот вывод подтверждается инструкцией ЦТ814, в которой рекомендации по выбору режимов сушки вступают в противоречие с теорией тепломассообмена.

Для сушки увлажненной изоляции обмоток ТЭД рекомендуется применять различные методы и средства. Однако существующие инструкции, рекомендации и руководства по выбору режимов сушки увлажненной изоляции тяговых электродвигателей предлагают в начале процесса сушки применять низкие температуры нагрева, а в конце процесса сушки температуру нагрева доводить до значений предельно допустимых для данного класса изоляции, что противоречит теории тепломассообмена.

Теория тепломассообмена во влажных материалах была создана школой Российских ученых: Н.И. Гамаюнова, И.С. Гинзбурга, М.А. Гришина, А.В. Думанского, В.П. Душанского, В.П. Дущенко, М.Ф. Казанского, Д.П. Лебедева, А.В. Лыкова, Ю.А. Михайлова, П.А. Ребиндера, Н.В. Чураева и др. [1-4].

В отечественной литературе наиболее фундаментально вопросы по механизмам сорбции и десорбции влаги электрической изоляции освещены в трудах М.М. Михайлова, В.В. Маслова и других работах [5].

Проблемам надёжности изоляционных конструкций электрических машин тягового подвижного состава посвящены труды таких учёных как А.В. Горский, А.А. Воробьёв, В.А. Четвергов, А.Д. Пузанков, М.Д. Глуценко, Г.М. Дурандин, А.С. Космодамианский, Е.Ю. Логинов, А.Т. Осяев, В.М. Пак, Н.А. Ротанов, Г.Г. Рябцев, А.С. Серебряков, В.С. Наговицин, В.Б. Кулаковский, Г. Кучинский, Ю.А. Полонский, С.Н. Койков, И.П. Гордеев, Т.Я. Глинка, П.М. Сви, Д. Вайда, М.Э. Борисова, Е.С. Согомоян, В.П. Феоктистов, В.Д. Авилов, В.В. Харламов, Ш.К. Исмаилов, В.П. Смирнов, М.А. Автаев, Н.Н. Капранов, П.Н. Шепелин и др.

Сушка представляет собой чрезвычайно сложный комплекс явлений, развивающихся как внутри высушиваемой изоляции, так и в среде сушильной камеры. Указанные явления развиваются не изолированно друг от друга, а в самом тесном взаимодействии. Анализ этих явлений и их влияния одного на другое вскрывает механизм обмена тепла и влаги и позволяет автоматизировать процесс управления энергоподводом в процессе сушки увлажненной изоляции тяговых двигателей ЭПС.

Основой теории сушки являются закономерности обмена тепла и влаги в увлажненной изоляции при наличии фазовых превращений, при взаимодействии объектов сушки с нагретыми газами с горячими поверхностями.

Обмен влаги в увлажненной изоляции при сушке зависит от коллоидно-физических свойств материала и форм связи влаги со скелетом тела, от пористой структуры, а также от

условий сопряжения материала с внешней средой. При этом обмен влаги в увлажненной изоляции может происходить в виде жидкости и пара молярно-молекулярным путем [1].

Характер поглощения и передвижения влаги в увлажненной изоляции в значительной мере зависит от функции распределения капилляров по размерам. Капилляры с радиусом  $r < 10^{-5}$  см считают микрокапиллярами, при  $r > 10^{-5}$  см макрокапиллярами. Основная причина такого деления обусловлена различными механизмами обмена газообразного вещества. Деление капилляров на макро- и микрокапилляры экспериментально доказано Ю.Л. Кавказовым [6], который показал, что в процессе сорбции влаги из влажного воздуха при нормальном давлении заполняются влагой только микрокапилляры.

Большое влияние на процесс влагоотдачи изоляции при сушке оказывает циркуляция влажного воздуха в макропорах. Последняя наблюдается при наличии градиента температуры. При этом происходит термодиффузное разделение водяного пара, молекулярный вес которого  $\mu_n = 18$  и воздуха, молекулярный вес которого  $\mu_e = 28,96$ , что приводит к обогащению водяным паром нагретых концов капилляров и притоку более сухого наружного воздуха к менее нагретым концам капилляров.

А.В. Лыков [2] на основе законов сохранения энергии и массы получил систему дифференциальных уравнений обмена тепла и массы в увлажненной изоляции при наличии фазовых превращений с учетом конвективного обмена тепла потоками пара и жидкости в изоляции при постоянном давлении, которые имеют следующий вид:

$$c\rho_0 \frac{\partial T}{\partial \tau} = -\operatorname{div} j_a + \varepsilon r \rho_0 \frac{\partial U}{\partial \tau}; \quad (1)$$

$$\rho_0 \frac{\partial T}{\partial \tau} = -\operatorname{div} j_m, \quad (2)$$

- где  $c$  – удельная теплоемкость увлажненной изоляции, Дж/(кг·К);  
 $r$  – удельная теплота фазовых превращений влаги, Дж/кг;  
 $\varepsilon$  – критерий фазового превращения;  
 $d$  – влагосодержание, г/кг;  
 $i$  – скорость перемещения влаги внутри изоляции;  
 $\tau$  – время, с;  
 $\partial T/\partial \tau$  – скорость изменения температуры;  
 $\partial U/\partial \tau$  – скорость перемещения влаги.

Опираясь на фундаментальные исследования школ, нами [7] предложена система дифференциальных уравнений, описывающая динамику процесса обмена тепла и влаги в изоляции обмоток ТЭД, которая выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} dU/\partial \tau = K_{11}\nabla^2 U + K_{12}\nabla^2 t + K_{13}\nabla^2 P_m + K_{14}\nabla^2 V; \\ dt/\partial \tau = K_{21}\nabla^2 U + K_{22}\nabla^2 t + K_{23}\nabla^2 P_m + K_{24}\nabla^2 V; \\ dP_m/\partial \tau = K_{31}\nabla^2 U + K_{32}\nabla^2 t + K_{33}\nabla^2 P_m + K_{34}\nabla^2 V; \\ dV/\partial \tau = K_{41}\nabla^2 U + K_{42}\nabla^2 t + K_{43}\nabla^2 P_m + K_{44}\nabla^2 V. \end{cases} \quad (3)$$

где  $\nabla^2$  – оператор Лапласа, зависящий от геометрических размеров тела, в нашем случае для прямоугольного проводника,

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

Система уравнений (3) показывает, что изменение объема обмоток ТЭД  $V$  с течением времени  $\tau$  происходит под действием трех движущих сил. Под действием изменения влагосодержания  $U$  и массосодержания, температуры  $t$  и давления  $P_m$ . Трудности разработки схемы численного решения системы дифференциальных уравнений (3) связаны с определением коэффициентов тепло- и массообмена ( $K_{11} \dots K_{44}$ ). Задача получается достаточно сложной в аналитическом отношении, так как она является нелинейной. Однако под действием этих трех движущих сил происходит увеличение или уменьшение объема изоляции обмоток ТЭД, в результате чего происходит образование микротрещин и микропустот в изоляции.

Выход из данной ситуации заложен в анализе кривых роста и скорости роста объема обмоток ТЭД в процессах обмена тепла и влаги. Надо полагать, что кривые изменения объема изоляции обмоток ТЭД и кривые сорбции и десорбции имеют одинаковый S-образный

вид. Путем графического дифференцирования можно получить кривые скорости изменения объема электроизоляции ТЭД, с помощью которых можно наиболее полно анализировать кинетику процесса тепло- и влагообмена. Кривые скорости изменения объема электроизоляции ТЭД будут иметь трапецеидальный вид. Физически это объясняется наличием в процессах увлажнения и сушки электроизоляции ТЭД трех основных периодов: нарастающей, постоянной и спадающей скорости изменения объема электроизоляции обмоток ТЭД. Все три периода описываются одним уравнением – уравнением S-образной кривой

$$\pm \frac{dV}{d\tau} = Km(V_{разн}^{кон} - V)(V - V_{разн}^{нач}). \quad (4)$$

Уравнение (4) интересно в том отношении, что оно рассматривает протекание процесса обмена тепла и влаги в изоляции обмоток ТЭД под действием двух движущих сил: под действием отклонения текущего объема изоляции обмоток ТЭД  $V$  от начального разнообъемного значения  $V_{разн}^{нач}$  и под действием отклонения  $V$  от конечного разнообъемного значения  $V_{разн}^{кон}$ .

Под разнообъемностью понимается соотношение объемов в изоляции обмоток ТЭД между сухой частью и водой. Наличие положительного и отрицательного знаков перед уравнением (4) указывает на то, что в процессах тепло- и влагообмена за счет всех движущих сил происходит увеличение или уменьшение объема изоляции обмоток ТЭД.

Решение (4) для начальных условий  $\tau = 0, V = V_H$  имеет вид

$$\tau = \frac{1}{K_m (V_{разн}^{кон} - V_{разн}^{нач})} \cdot \ln \frac{(V_H - V_{разн}^{нач})(V_{разн}^{кон} - V)}{(V_{разн}^{кон} - V_H)(V - V_{разн}^{нач})}. \quad (5)$$

Трудности применения уравнения (5) связаны с нахождением параметров  $V_{разн}^{кон}$  и  $K_m$ . Параметры  $V_{разн}^{кон}$  и  $K_m$  можно определить, получив и решив систему уравнений кинетики процесса обмена тепла и влаги, отражающих взаимосвязь между тепло- и влагообменом и изменением объема обмоток ТЭД. Из дифференциального уравнения энергетического баланса применительно к процессу нагрева изоляции обмоток ТЭД

$$T = T \ln \frac{\theta_{max}}{\theta_{min}}, \quad (6)$$

где  $T$  – постоянная времени нагрева электроизоляции ТЭД, с;

$\theta$  – превышение температуры электроизоляции над температурой окружающей среды, К.

Постоянную времени нагрева  $T$  можно рассчитать по геометрическим и физическим характеристикам электроизоляции ТЭД.

В данный момент разрабатывается система автоматического управления дискретными методами энергоподвода в процессе сушки увлажненной изоляции ТЭД электроподвижного состава.

Считая, что существует полное совпадение по фазам между явлениями тепломассообмена и ростом объема изоляции обмоток ТЭД, из выражений (5) и (6) получаем необходимую систему уравнений для кинетики процесса обмена тепла и влаги в изоляции обмоток ТЭД

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{(V_H - V_{разн}^{нач})(V_{разн}^{кон} - V)}{(V_{разн}^{кон} - V_H)(V - V_{разн}^{нач})} = \frac{\theta_{max}}{\theta_{min}} \\ \frac{1}{K_m (V_{разн}^{кон} - V_{разн}^{нач})} = T \end{array} \right. \quad (7)$$

Отсюда

$$K_m = \frac{1}{T (V_{разн}^{кон} - V_{разн}^{нач})}. \quad (8)$$

Величину  $K_m$  можно использовать в качестве модифицированного обобщенного диагностического параметра при прогнозировании состояния изоляции обмоток ТЭД. По этому параметру выстраивается система контроля и диагностики состояния изоляции.

В настоящее время, на базе научно исследовательской лаборатории «Надежность тяговых электрических машин» ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей со-

общения», проводятся исследования по автоматизации процесса сушки увлажненной изоляции обмоток ТЭД ЭПС с использованием серийно выпускаемых электрокалориферных установок. В качестве диагностического параметра при настройке системы автоматизации используется модифицированный обобщенный показатель  $K_m$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лыков, А.В. Явления переноса в капиллярно пористых телах / А.В. Лыков. -М.: ГИТТЛ, 1954. -296 с.
- 2 Лыков, А.В. Теоретические основы строительной теплофизики / А.В. Лыков. -Минск: Изд-во АН БССР, 1961. -520 с.
- 3 Лыков, А.В. Теория тепло и массопереноса / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. -М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. -536 с.
- 4 Лыков, А.В. Теория переноса энергии и вещества / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. -Минск: Изд-во АН БССР, 1959. -330 с.
- 5 Маслов, В.В. Влагостойкость электрической изоляции / В.В. Маслов. -М.: Энергия, 1973. -208 с.
- 6 Кавказов, К.Л. Взаимодействие кожи с влагой / К.Л. Кавказов. -М.: Гизлегпром, 1952. -320 с.
- 7 Новый метод сушки увлажненной изоляции обмоток ТД / А.М. Худоногов, Д.В. Коноваленко, В.В. Сидоров, Е.М. Лыткина // Материалы международной научно-практической конференции, 1-4 окт. 2008 г. -Чита, 2008. -Т.1. -С. 282.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *теплотемассообмен, сушка увлажненной изоляции*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Худоногов Анатолий Михайлович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»*

*Сидоров Василий Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»*

*Лыткина Екатерина Михайловна, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:**

*664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»*

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ**

**ФГОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»**

**Г.Я. Иванов, А.Ю. Кузнецов.**

### **ENERGY CHARACTERISTICS OF ASYNCHRONOUS MOTOR DURING SPEED CONTROL**

**«Novosibirsk state agrarian university»**

**G.Y. Ivanov, A.Yu. Kuznetsov**

In this article the energy characteristics of asynchronous motor for one of the most common laws of frequency control under the permanency of main clutch-current are analyzed.

Дан анализ энергетических характеристик асинхронного двигателя (АД) для одного из наиболее распространенных на практике законов частотного управления при постоянстве главного потокосцепления ( $\psi_m = \text{Const}$ ).

Наибольший КПД, а следовательно и наименьшие потери в АД при номинальном напряжении питания приходятся на область нагрузки 65-85% от номинальной. Подавляющее использование АД для электропривода имеет место с недогрузом этих параметров (коэффициент загрузки часто составляет всего 0,15-0,40) [1].

Основным показателем, определяющим КПД, как преобразователя частоты (ПЧ), так и мощность асинхронного двигателя (АД), является суммарная мощность тепловых потерь.

Близким по энергетическим показателям к режиму минимальных потерь (или максимум КПД) является минимум модуля тока статора, определяющий минимальные потери активной мощности в системе ПЧ-АД.

КПД ПЧ, как элемента комплектного электропривода, должен определяться с учетом мощности, потребляемой АД в номинальном режиме.

При выборе мощности АД, управляемого от ПЧ, необходимо учитывать режимы работы привода, диапазон регулирования скорости, момент нагрузки и характер ее изменения, момент инерции, тип, параметры и условия охлаждения АД [2].

При определении потерь нужно учитывать дополнительный нагрев АД от токов высших гармонических.

Потери в меди статора и ротора с учетом высших гармоник можно учесть по формуле [3]

$$\Delta P_{ms,r} = \frac{S}{S_H} M (K_s + K_r) K_3^2, \quad (1)$$

где  $K_s, K_r, K_3$  – коэффициенты соответственно потерь в меди статора и ротора, учитывающий дополнительный нагрев АД от токов высших гармоник.

При работе в режимах сброса и наброса нагрузки соответственно растут и потери, хотя ряд авторов рекомендует ими пренебречь из-за незначительности [2, 4].

Общепринятым методом улучшения теплового режима в системе ПЧ-АД является завышение габаритов АД. Такое завышение мощности зависит от многих факторов, в первую очередь от диапазона регулирования скорости, но целесообразность завышения габарита АД должна обосновываться технико-экономическим анализом, в котором учитывается увеличение стоимости АД, ПЧ и потребляемой энергии.

Исследования авторов в режиме наброса и сброса нагрузки для электродвигателей 2,2 и 4 кВт, завышение габарита АД не дало ожидаемого результата по повышению КПД. Так при значительном увеличении габаритов АД его момент инерции увеличивается в большей степени, чем допустимая мощность потерь.

Существенное влияние на общие потери в АД могут оказать электромагнитные переходные процессы. Так при пуске реальные тепловые потери в АД могут быть на 30-35% больше потерь, рассчитанных без учета электромагнитных переходных процессов [6].

Большое значение имеют и начальные электромагнитные условия, так за счет создания начальных электромагнитных условий можно приблизить потери при пуске АД к потерям, рассчитанным без учета электромагнитных переходных потерь, а это уменьшение потерь на 15-30%.

Авторами проведены исследования энергетических показателей частотно-регулируемого АД типа 4AM90L4 мощностью 2,2 кВт ( $U = 380$  В,  $n_n = 1425$  об/мин,  $\eta = 0,82$  и  $\cos \varphi_n = 0,83$ ) от момента на валу при работе на естественной механической характеристике в системе ПЧ-АД при постоянстве главного потокосцепления  $\psi_m = \text{Const}$ .

Расчет коэффициента мощности  $\cos \varphi$  и коэффициента полезного действия  $\eta$  АД велся по формулам [5]:

$$\cos \phi = \frac{U_{sx} i_{sy} - U_{sy} i_{sx}}{U_{sx} i_s}; \eta = \frac{M \omega_2}{U_{sx} i_{sy} - U_{sy} i_{sx}}, \quad (2)$$

где  $i_{sy}, i_{sx}$  – соответственно проекции вектора тока статора на оси ортогональной системы координат;

$U_{sy}, U_{sx}$  – проекции вектора напряжения статора.

Частота вращения ротора в режиме  $\psi_m = \text{Const}$  описывается следующим уравнением

$$\omega_2 = \omega_1 - \beta, \quad (3)$$

где  $\beta$  – абсолютное скольжение.

Расчет энергетических характеристик велся при изменении абсолютного скольжения от 0 до 0,2 о.е. при фиксированных значениях частоты статора  $\omega_1$  (1; 0,5; 0,25 о.е.).

Механическая характеристика в режиме  $e_m / \omega_1 = \psi_m = \text{Const}$  описывается уравнением

$$M = \frac{3}{2} \psi_m i_{sy}. \quad (4)$$

За расчетное базовое значение главного потокосцепления принималась его величина при номинальном режиме.

Используемый вариант системы относительных единиц позволяет оценить исследуемые параметры двигателя по отношению к его энергетическим характеристикам в номинальном режиме.

На рисунках 1-3 приведены в относительных единицах энергетические характеристики исследуемого двигателя. На статор подавалось синусоидальное напряжение с регулируемой амплитудой и частотой; при этом частоте  $\omega_1 = 1$  соответствует кривая изображенная

сплошной линией;  $\omega_1 = 0,5$  – пунктирной линией;  $\omega_1 = 0,25$  – штрихпунктирной линией.

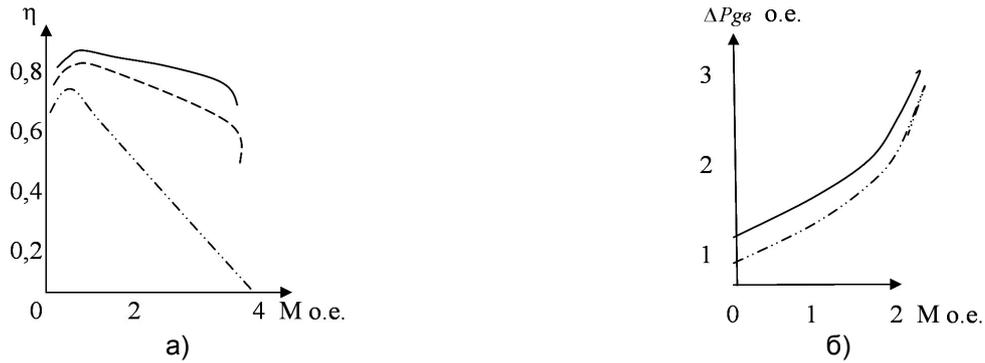


Рисунок 1 – Энергетические характеристики КПД АД (а) и суммарных потерь (б)

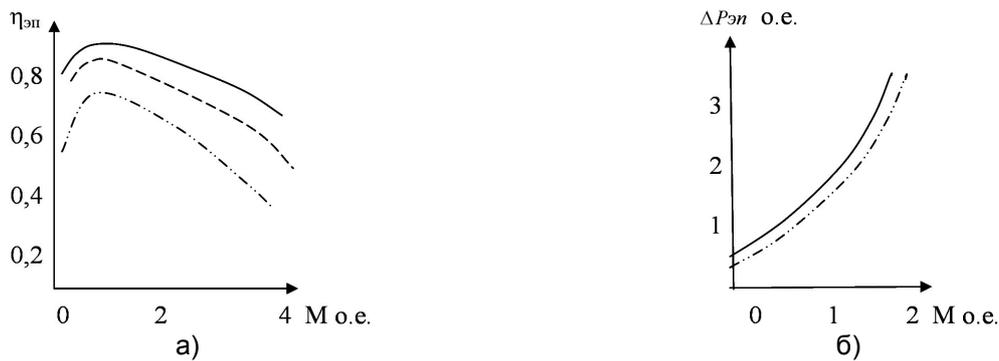


Рисунок 2 – Энергетические характеристики КПД (а) и суммарных потерь (б) в системе ПЧ-АД

Анализируя эти кривые видно, что при уменьшении нагрузки существенно снижаются потери, соответственно ток статора и удается поддерживать примерно на одном уровне коэффициент мощности АД.

При этом режиме устраняется влияние частоты на токи статора и ротора, которые зависят только от нагрузки двигателя.

За счет уменьшения потерь в двигателе и преобразователе частоты, зависящих от токов статора и ротора, при снижении нагрузки наблюдается увеличение КПД всей системы.

Кроме того, хотелось бы отметить следующую особенность режима постоянства главного потокосцепления – в верхнем диапазоне частот уже начиная с  $\omega_1 > 0,5$  напряжение на статоре значительно превышает номинальное, особенно при больших скольжениях.

Расчетные данные показывают, что целесообразной областью применения АД с управлением  $\psi_m = \text{Const}$  являются механизмы работающие длительное время с нагрузкой, пониженной до  $(0,4-0,6)M_{ном}$ , или имеющие перемежающийся режим работы с номинальной нагрузкой. Применение таких систем управления на пониженной нагрузке может дать существенный экономический эффект и представляется весьма перспективным.

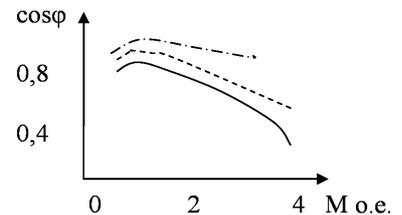


Рисунок 3 – Характеристики коэффициента мощности

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Проблемы развития и применения частотно-регулируемого электропривода в сельскохозяйственном производстве / Г.Я. Иванов, Б.В. Малоземов, А.Ю. Кузнецов, П.А. Лисенков // Информационные технологии, системы и приборы в АПК: сб. науч. тр. / СО РАСХН. - Новосибирск, 2006. -С. 212-217.

2 Шубенко, В.А. Тиристорный асинхронный электропривод / В.А. Шубенко, И.Я. Браславский. -М.: Энергия, 1972. -200 с.

3 Чиликин, М.Г. Теория автоматизированного электропривода / М.Г. Чиликин, В.И. Ключев, А.С. Сандер. -М.: Энергия, 1979. -616 с.

4 Булгаков, А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / А.А. Булгаков. -М.:

Наука, 1966. -297 с.

5 Андриенко, П.Д. Способы частотного управления асинхронными двигателями / П.Д. Андриенко, А.В. Волков // Электротехн. пром. Электропривод. -1983. -№10. -С. 13-15.

6 Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский. -М.: Академия, 2006. -264 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** асинхронный электропривод

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Иванов Геннадий Яковлевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАУ»

Кузнецов Андрей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, ФГОУ ВПО «НГАУ»

## **ПОТЕРИ МОЩНОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ЧАСТОТНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ**

**ФГОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»**

**Г.Я. Иванов, А.Ю. Кузнецов.**

**POWER LOSSES OF ASYNCHRONOUS MOTOR UNDER FREQUENCY REGULATION**

«Novosibirsk state agrarian university»

G.Y. Ivanov, A.Yu. Kuznetsov

In this article the questions of estimation of power loss of frequency-regulated asynchronous electric drive under the permanent statistic load are examined.

Рассмотрены вопросы оценки потерь мощности частотно-регулируемого асинхронного электропривода при постоянной статической нагрузке.

В последние годы уделяется большое внимание теоретическим и практическим вопросам энергосбережения. Энергосбережение стало одним из приоритетных направлений технической политики во всех развитых странах мира и ведущих компаний. Это связано с ограниченностью и невозобновляемостью энергоресурсов, а также с возрастающими сложностями экологического характера, очень резко обозначившимися на рубеже тысячелетий.

В настоящее время электропривод подавляющего большинства механизмов по техническим требованиям и в пределах реализуемой мощности машины может быть выполнен на основе асинхронного короткозамкнутого двигателя и транзисторного преобразователя частоты. Недостатком такой системы является значительная стоимость силовой части преобразователя, особенно на основе автономных инверторов с принудительной широтно-импульсной коммутацией.

В ряде случаев рационально спроектированные и построенные скалярные системы частотного управления асинхронного двигателя (АД) оказываются дешевле и проще систем векторного управления, особенно в неглубоких диапазонах регулирования [3].

По энергетическим и стоимостным соображениям актуальной остается задача выбора асинхронного электропривода с частотным регулированием по КПД на основе экономичного регулирования.

КПД электродвигателя принимает максимальное значение, когда переменные потери мощности равны постоянным. Если АД работает при переменной нагрузке, то для его эффективной работы следует, например при снижении нагрузки, когда уменьшаются переменные потери, одновременно уменьшить и постоянные потери, что возможно за счет снижения подводимого напряжения – это следует из формулы описанной М. П. Костенко для идеализированного асинхронного двигателя [1].

Для реального двигателя вместо  $U_1$  в формулу входит э.д.с. статора

$$\frac{E_1}{E_{1ном}} = \frac{f_1}{f_{1ном}} \sqrt{\frac{M_c}{M_{cном}}} \quad (1)$$

Установившийся режим работы АД позволяет выразить механическую мощность на валу двигателя через потери.

Воспользуемся известным выражением для суммарных потерь мощности в частотно-регулируемом АД [2]

$$\Delta P = \Delta P_m + \Delta P_{Fe} + 3I_\mu^2 R \quad (2)$$

Для расчета КПД АД при частотном регулировании использовалось выражение

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \left[ 1 + A \left( \frac{\mu_c}{\alpha} + a_1 \frac{\alpha}{\mu_c} + a_2 \frac{\alpha^{n+q-1}}{\mu_c} + a_3 \frac{\alpha^{n-1}}{\mu_c} \right) \right]^{-1}, \quad (3)$$

где  $a_1 = \frac{\Delta P_{\text{мех.ном}}}{\Delta P_{\text{пер.ном}}}$ ;  $a_2 = \frac{\Delta P_{\text{ст.ном}}}{\Delta P_{\text{пер.ном}}}$ ;  $a_3 = \frac{\Delta P_{\text{м.ном}}}{\Delta P_{\text{пер.ном}}}$ ;  $A = \frac{\Delta P_{\text{пер.ном}}}{P_{\text{ном}}}$ ;  $\alpha = \frac{f_1}{f_{1\text{ном}}}$ ;  $\mu_c = \frac{M_c}{M_{c\text{ном}}}$  – безразмерные

величины;

$n, q$  – коэффициенты.

У современных электротехнических сталей, применяемых в электродвигателях переменного тока  $q = 1,5$ , что и использовалось при расчетах.

В связи с тем, что максимум КПД наступает когда переменные потери мощности равны постоянным, то КПД электродвигателя рассчитывается исходя из коэффициента загрузки. Оптимальный коэффициент загрузки, необходимый для расчетов, представим в виде [3]

$$K_{3\text{ опт}} = \mu_{c\text{ опт}} = \sqrt{a_1 \alpha^2 + a_2 \alpha^{n+q} + a_3 \alpha^n}. \quad (4)$$

На рисунке 1 приведена расчетная зависимость при  $n = 0$ , оптимального коэффициента загрузки от относительной частоты для АД типа 4АМ90L4 мощностью 2,2 кВт. Расчет производился для постоянного статического момента и номинального магнитного потока. Постоянный магнитный поток требуется для электроприводов подъемных машин и в этом случае обеспечивается высокая перегрузочная способность. Анализ этого графика показывает, что оптимальный коэффициент загрузки однозначно смещается в сторону меньших нагрузок при уменьшении частоты.

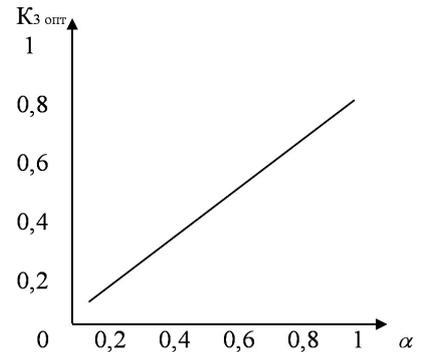


Рисунок 1 – График изменения оптимального коэффициента загрузки ( $M_c = \text{Const}$ )

При использовании АД для механизмов работающих длительное время при малых нагрузках целесообразно использовать управление, когда магнитный поток изменяется пропорционально нагрузке. Изменяя приложенное к АД напряжение  $U_s$  и магнитный поток, а следовательно и ток намагничивания, можно получить минимум потерь или максимум КПД для каждого значения момента нагрузки [5].

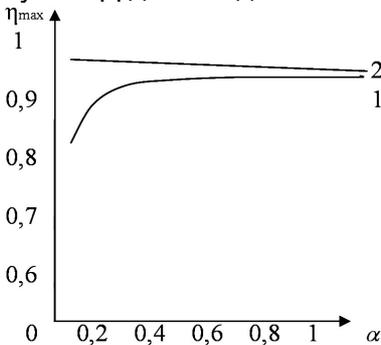


Рисунок 2 – Изменение максимального КПД при постоянном магнитном потоке (кривая 1) и меняющимся магнитным потоком в соответствии с нагрузкой (кривая 2)

На рисунке 2 показаны расчетные зависимости максимального КПД от относительной частоты для того же двигателя при управлении с постоянным магнитным потоком (кривая 1) и изменяющимся магнитным потоком пропорционально нагрузке (кривая 2).

Хотя оптимальный коэффициент загрузки практически линейно зависит от относительной частоты  $\alpha$ , максимальные значения КПД меняются незначительно, заметно начиная уменьшаться при  $\alpha < 0,3$ .

Управление с меняющимся магнитным потоком при изменении нагрузки целесообразно применять для механизмов, работающих значительное время при малых нагрузках.

В этом случае потери в стали и в обмотке статора тоже уменьшаются с уменьшением нагрузки, что способствует повышению КПД. Однако в этом

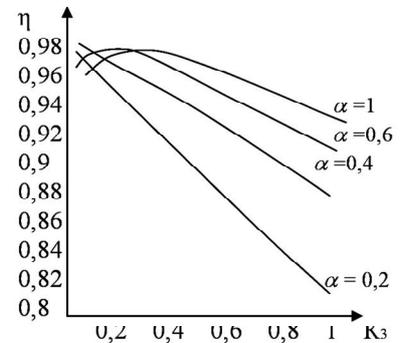


Рисунок 3 – Зависимость КПД от коэффициента загрузки при разных относительных частотах

случае максимальные значения КПД достигаются при очень малых коэффициентах загрузки, что не представляет практического интереса.

В рабочей зоне частот  $0,2 \leq \alpha \leq 1$  величина КПД весьма незначительно уменьшается с увеличением частоты.

На рисунке 3 приведены графики зависимости КПД от коэффициента загрузки при фикс-

сированных частотах для того же АД при изменяющемся магнитном потоке. Анализ этих характеристик показывает, что в области рабочих частот с увеличением нагрузки КПД уменьшается. При номинальной частоте  $\alpha = 1$  максимум КПД достигается в области рабочих частот АД.

По энергетическим показателям к режиму, когда уменьшаются постоянные потери и переменные, близким является режим минимума полного тока статора, особенно для электроприводов с низким коэффициентом загрузки.

В [4, 5] показано, что для различных вариантов управления АД для механизмов с низким коэффициентом загрузки, основным критерием оптимизации должен быть минимум полного тока статора, определяющий минимальные потери активной мощности и позволяющий поддерживать примерно на одном уровне коэффициент мощности.

Анализ расчетных данных показывает, что целесообразной областью применения АД с оптимальным по минимуму тока статора управлением являются механизмы, работающие длительное время с пониженной до  $(0,4-0,6)M_{ном}$  нагрузкой или имеющие перемежающийся режим работы с номинальной нагрузкой. Если в этом случае не требуются глубокие диапазоны регулирования, то проще и дешевле применить скалярные системы регулирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Костенко, М.П. Электрические машины / М.П. Костенко, Л.М. Пиотровский. -М.: ГЭИ, 1958. -651 с.

2 Браславский, И.Я. Асинхронный энергосберегающий электропривод / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. -М.: Академия, 2004. -256 с.

3 Фираго, Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. -Минск: Техноперспектива, 2006. -363 с.

4 Эпштейн, И.И. Автоматизированный электропривод переменного тока / И.И. Эпштейн. -М.: Энергоиздат, 1982. -192 с.

5 Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский. -М.: Академия, 2006. -264 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** асинхронный электропривод

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Иванов Геннадий Яковлевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАУ»

Кузнецов Андрей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, ФГОУ ВПО «НГАУ»

### **ДИАГНОСТИКА ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С ПОМОЩЬЮ ЗВУКА**

ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

**Н.Т. Герцен, Г.В. Суханкин**

#### **PRELIMINARY TREATMENT OF ISOLATION OF ELECTRIC MOTORS BY MEANS OF THE SOUND**

«Altay state technical university of I.I. Polzunova»

N.T. Gercen, G.V. Suhankin

The method of preliminary treatment of a condition of polymeric isolation of electric cars on the basis of attenuation of the sound generated by microconveyances of conductors of a winding is offered. Experimental data testify to degree of thermal ageing of isolation at various operation phases of the electric motor.

Предлагается метод диагностики состояния полимерной изоляции электрических машин на основе затухания звука, генерируемого микроперемещениями проводников обмотки. Экспериментальные данные свидетельствуют о степени теплового старения изоляции на различных этапах эксплуатации электродвигателя.

Полимерная изоляция электрической машины (ЭМ) в основном определяет её надежность. Нарушение изоляции обмоток приводит к выходу из строя ЭМ, останавливая технологический процесс, появляются вынужденные простои, что приводит к экономическим потерям, увеличению себестоимости продукции. Следовательно, диагностика состояния изоляции важная народохозяйственная задача. Эффективные методы диагностики состояния изоляции и соответствующие измерительные устройства могли бы в значительной степени решить проблему её эксплуатационной надежности. На сегодняшний день появились методы и приборы, позволяющие без вывода из эксплуатации ЭМ измерять одну из основных

прочностных характеристик – упругость изоляции, которая самым существенным образом связана со степенью её теплового старения [1]. Ранее [2-4] разрабатывались методики и технические средства, которые позволяли контролировать физико-механические показатели изоляции на этапе ремонта и её электрические показатели на этапе эксплуатации ЭМ. Немаловажным обстоятельством, влияющим на актуальность и необходимость измерения физико-механических показателей изоляции, является их связь с её поверхностным и объёмным увлажнением, температурой, составом применяемых материалов и др.

Диагностика материалов с помощью акустических, в частности, ультразвуковых волн известна давно. Подобные методики успешно применяются в области дефектоскопии, медицины, в различных технологических процессах. Для визуального наблюдения скрытых частей какого-либо объекта обычно используется метод отражения, заключающийся в отражении на границе двух сред части зондирующего акустического луча из-за разных акустических сопротивлений (импедансов) этих сред. Для оценки свойств и состояния материала используется метод, базирующийся на измерении скорости распространения акустической волны. Однако для сложных геометрических и неоднородных объектов подобных ЭМ эти методы непригодны. Наиболее приемлемым для диагностики состояния изоляции обмоток является метод, основанный на измерении затухания акустической волны.

Коэффициент поглощения акустической волны связан с модулем упругости изоляции следующими соотношениями:

$$E' = \frac{\rho c^2 \left[ 1 - \left( \frac{\alpha \lambda}{2\pi} \right)^2 \right]}{\left[ 1 + \left( \frac{\alpha \lambda}{2\pi} \right)^2 \right]^2}; \quad (1)$$

$$E'' = \frac{\rho c^2 \frac{\alpha \lambda}{2\pi}}{\left[ 1 + \left( \frac{\alpha \lambda}{2\pi} \right)^2 \right]^2}, \quad (2)$$

где  $E', E''$  – соответственно динамический модуль упругости и модуль потерь;

$\rho$  – плотность изоляционного материала;

$\lambda$  – длина волны;

$c$  – скорость распространения волны [5].

В процессе воздействия тепла на изоляцию обмоток электродвигателя, что имеет место при его эксплуатации, модуль упругости  $E$  полимерной изоляции возрастает многократно, особенно в начальный период эксплуатации. Следовательно, увеличение упругих характеристик изоляции согласно формулам (1) и (2) снижает коэффициент поглощения акустической волны. Таким образом, тепловое старение изоляции приводит к увеличению амплитуды акустического шума, по величине изменения которой можно судить о степени старения изоляции электродвигателя.

Коэффициент поглощения определяется из выражений (1) и (2)

$$\alpha = \frac{1}{E \lambda^2} \left[ 2 \left( \frac{-2E\pi^2 \lambda^2 - \pi^2 \lambda \rho c^2 + \sqrt{4E\pi^4 \lambda^4 \rho c^2 + 4E\pi^4 \lambda^6 \rho c^2 + \pi^4 \lambda^8 \rho c^4}}{+ \sqrt{4E\pi^4 \lambda^4 \rho c^2 + 4E\pi^4 \lambda^6 \rho c^2 + \pi^4 \lambda^8 \rho c^4}} \right) \right]. \quad (3)$$

Зависимость  $\alpha$  от  $E$  для “усреднённой” полимерной изоляции на частоте 50 кГц представлена на рисунке 1.

Рассматриваемый метод использует эффекты, связанные с акустической эмиссией. Акустическая эмиссия имеет место в результате растрескивания изоляции, микроперемещений проводников обмотки, аллотропических изменений и т.д. В данном случае генерация акустического сигнала происходит в результате магнитного взаимодействия проводников обмотки. Для фиксации акустического шума, создаваемого трением проводников датчики располагаются так, чтобы приём сигнала, порождаемого

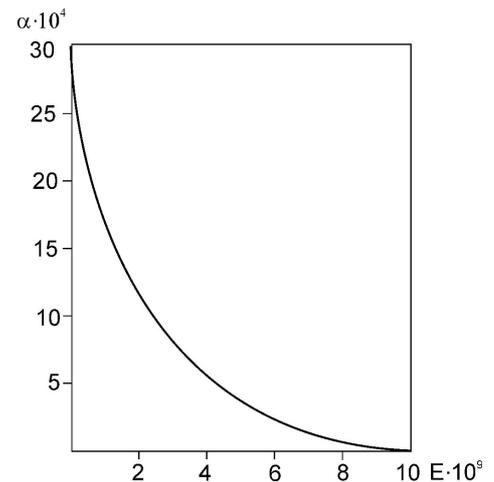


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента поглощения от модуля упругости изоляции

внутри объекта исследования был бы оптимальным.

В качестве чувствительного элемента могут использоваться ёмкостные датчики и пьезоэлементы. Датчик типа пьезоэлемент можно рассматривать как пластину с характеристическим акустическим импедансом  $Z_1 = \rho_1 c_1$  нагруженной на две среды с входными импедансами  $Z_0$  и  $Z_2$  (рисунок 2).

Пьезопластина толщиной  $h_1$  считается бесконечно протяжённой в направлении, перпендикулярном  $x$ , так что влияниями краёв пластины можно пренебречь. Пьезодатчик подключён к электрической цепи, которая обладает некоторым входным сопротивлением  $Z_a$ . Задача о приёме звуковых волн сводится к расчёту эквивалентной электрической цепи.

Из протяжённой среды с характеристическим импедансом  $Z = \rho c$  падает волна с акустическим напряжением  $T$  на систему тонких слоёв и, пройдя её, достигает пьезоприёмника. Решается подобная задача с помощью теории взаимности, построенной на системе аналогий акустическое давление – электрическое напряжение, колебательная скорость – электрический ток. В результате получаем следующее выражение для падения напряжения  $U$  на входном сопротивлении  $Z_a$  [6]

$$U = T \frac{2eS}{h_1 z_1} z_a B F_1 G, \quad (4)$$

где  $S$  – площадь пьезопластины;  
 $e$  – пьезоконстанта;

$$B = \frac{1/z_a}{1/z_a - j\omega C}; F_1 = \frac{\zeta_1/\zeta_3}{1 + jg(1 + z_a/z_b)FB}; g = \frac{e^2}{\varepsilon_0 \varepsilon h_1 \omega z_1} = \frac{\beta^2 f_0}{\pi f};$$

$f_0$  – частота, при которой толщина пластины равна половине длине волны;  
 $\beta$  – коэффициент электромеханической связи;

$$F = \frac{\zeta_1 + \zeta_2}{\zeta_3}; \zeta_2 = 1 - \cos k_1 h_1 + j \frac{Z_2}{Z_1} \sin k_1 h_1;$$

$$\zeta_1 = 1 - \cos k_1 h_1 - j \frac{Z_0}{Z_1} \sin k_1 h_1; \zeta_3 = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_1} \cos k_1 h_1 - j \left( 1 - \frac{Z_2 Z_0}{Z_1^2} \right) \sin k_1 h_1;$$

$k_1$  – волновое число.

Множитель  $G$ , учитывающий прохождение звука через слой от второго до  $n$ -го (номер 1 присвоен пьезопластинке) имеет вид

$$G = \prod_{i=2}^n \left( \cos k_i h_i - \frac{Z_{i+1}}{Z_i} \sin k_i h_i \right).$$

В полимерной среде необходимо учитывать затухание акустической волны, связанное с внутренним трением, неидеальным упругим свойствам и другим эффектам. Коэффициент затухания складывается из коэффициентов поглощения  $\alpha$  и коэффициента рассеяния  $\delta$ . При поглощении звуковая энергия переходит в тепловую, а при рассеянии энергия остаётся звуковой, но уходит от направления волны в результате многократных отражений от неоднородностей структуры изоляции. Для упрощения решения задачи будем учитывать только поглощение звука введением мнимой части в волновое число  $k = 2\pi/\lambda + i\alpha$ . Таким образом, распространяющаяся в полимерной изоляции акустическая волна подчиняется соотношению [6]

$$\phi = A \exp[i(kx - \omega t) - \alpha x],$$

где  $x$  – путь распространения волны.

Учитывая (3) можно перейти к амплитудам

$$A = A_0 \exp \left\{ -\frac{x}{E\lambda^2} \left[ 2 \left( -2E\pi^2 \lambda^2 - \pi^2 \lambda \rho c^2 + \sqrt{4E\pi^4 \lambda^4 \rho c^2 + 4E\pi^4 \lambda^6 \rho c^2 + \pi^4 \lambda^8 \rho c^4} \right) \right] \right\}, \quad (5)$$

где  $A_0$  – начальная амплитуда.

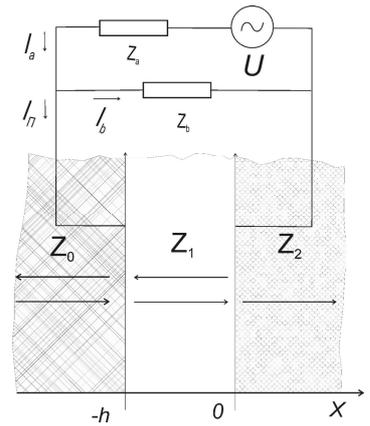


Рисунок 2 – Расчётная схема электроакустического тракта

Сила взаимодействия двух проводников в модели паза обмотки электродвигателя (рисунок 3)

$$F = \frac{\mu\mu_0 I^2}{2\pi a} l, \quad (6)$$

где  $\mu$  – магнитная проницаемость;  
 $\mu_0$  – магнитная постоянная, сила тока в проводниках;  
 $a$  – расстояние между проводниками;  
 $l$  – длина проводников.

На площадку, ограниченную длиной  $l$  и высотой, равной диаметру проводника  $d$ , площадью  $S$  действует давление  $P$  равное отношению силы  $F$  к площади  $S$ .

Таким образом, если перейти от амплитуд звуковой волны к звуковым давлениям, то

$$P = P_0 \exp \left\{ -\frac{X}{E\lambda^2} \left[ 2 \left( -2E\pi^2\lambda^2 - \pi^2\lambda \rho c^2 + \sqrt{4E\pi^4\lambda^4\rho c^2 + 4E\pi^4\lambda^6\rho c^2 + \pi^4\lambda^8\rho c^4} \right) \right] \right\}. \quad (7)$$

Уравнение (7) описывает распространение плоской волны, а с учётом формирования волны, обусловленной взаимодействием двух проводников в это уравнение необходимо внести поправку, связанную с фокальными расстояниями  $r_1$  и  $r_2$  (рисунок 4).

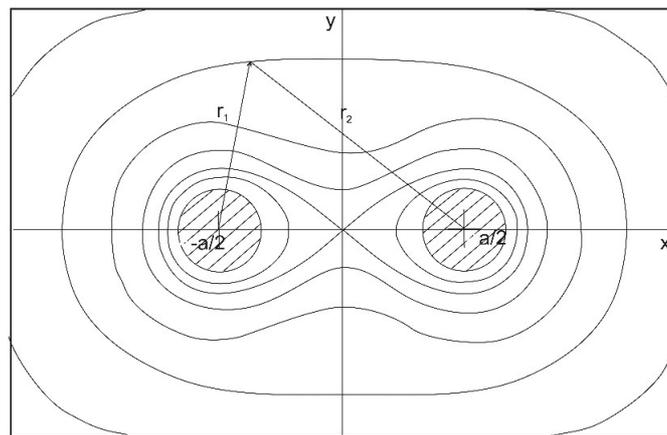


Рисунок 4 – Модель распространения волны при взаимодействии двух проводников обмотки в пазу:  $r_1$  и  $r_2$  – расстояния от центров проводников до эквипотенциальных поверхностей давления звуковой волны

Эквипотенциальные поверхности звуковой волны, порождаемой взаимодействием двух проводников описываются уравнением

$$\left[ x^2 + y^2 + (a/2)^2 \right]^2 - 4(a/2)^2 x^2 = r^2, \quad (8)$$

где  $r_1 r_2 = r^2$ .

Из (6)-(8) следует, что

$$P = \frac{\mu\mu_0 I^2}{2\pi da} \exp \left[ -\frac{2 \left( -2E\pi^2\lambda^2 - \pi^2\lambda \rho c^2 + \sqrt{4E\pi^4\lambda^4\rho c^2 + 4E\pi^4\lambda^6\rho c^2 + \pi^4\lambda^8\rho c^4} \right) r}{E\lambda^2} \right]. \quad (9)$$

Используя (4) и считая, что на границе поверхность электродвигателя-датчик акустическое напряжение со стороны электродвигателя и акустическое напряжение со стороны датчика равны исходя из граничных условий, то величины  $P$  из (9) и  $T$  из (4) являются идентичными. Таким образом, по напряжению на выходе приёмника можно судить об упругих показателях изоляции

$$U = \frac{\mu\mu_0 I^2}{2\pi da} \frac{2eS}{h_1 z_1} z_a B F_1 G \exp \left( -\frac{2 \left[ -2E\pi^2\lambda^2 - \pi^2\lambda \rho c^2 + \sqrt{4E\pi^4\lambda^4\rho c^2 + 4E\pi^4\lambda^6\rho c^2 + \pi^4\lambda^8\rho c^4} \right] r}{E\lambda^2} \right).$$

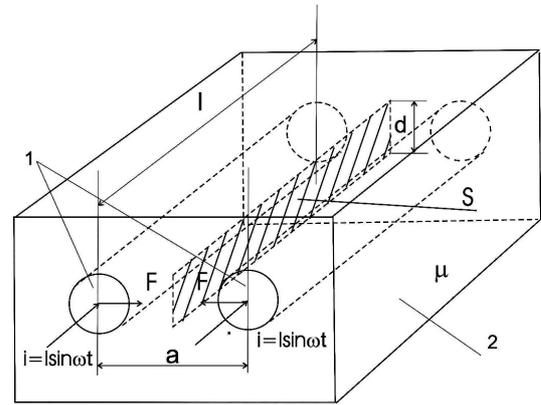


Рисунок 3 – Модель паза обмотки электродвигателя: 1-проводники обмотки, 2-изоляция

С помощью разработанных технических средств путём испытания образцов пропиточных лаков в камере теплоты и влаги, а также на вибростенде при воздействии на них влажности (0-100%), температуры (0-200 °С) и виброскорости (0-420 мм/с) получены данные по затуханию акустических волн, связанные с модулем упругости  $E$  и свидетельствующие о степени старения изоляции (рисунок 5). Полученные результаты хорошо коррелируют с данными из [7-9].

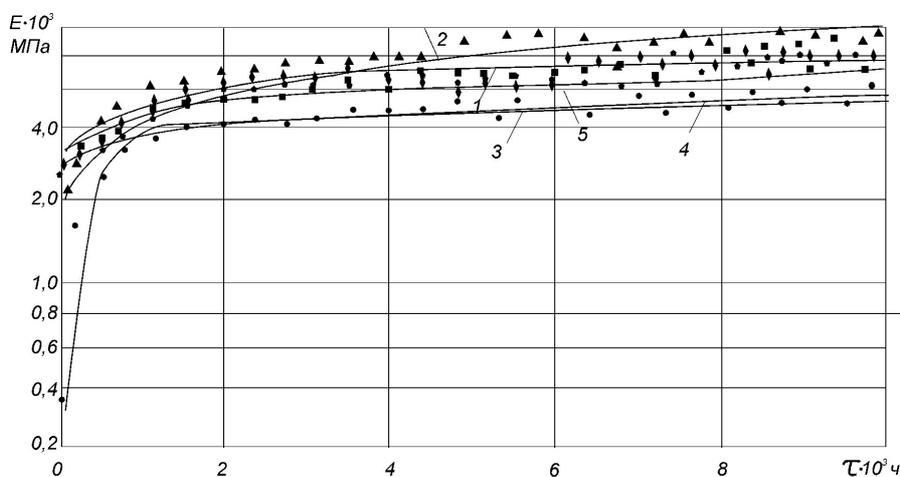


Рисунок 5 – Экспериментальные данные зависимости модуля упругости от времени теплового старения пропиточных материалов, измеренного при 20 °С: 1) КП-103, 2) КП-101, 3) КП-18, 4) МЛ-92, 5) КП-34

Таким образом, показатель  $E$  можно использовать в качестве дополнительного диагностического параметра состояния изоляции электродвигателей.

Областью применения разработанных технических средств является оценка качества изоляции электрических машин, прогнозирование состояния изоляции, измерение её физико-механических параметров.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Герцен, Н.Т. Акустическая диагностика изоляции обмоток асинхронных двигателей в сельскохозяйственном производстве: дис. ... канд. техн. наук / Н.Т. Герцен. -Барнаул, 2007. -143 с.
- 2 Суханкин, Г.В. Ультразвуковая диагностика изоляции обмоток асинхронных электродвигателей в условиях агропромышленного комплекса : дис. канд. ... техн. наук / Г.В. Суханкин. -Барнаул, 2002. -187 с.
- 3 Гладков, А.Э. Электроизоляционные лаки и компаунды / А.Э. Гладков. -М.: Энергия, 1973. -247 с.
- 4 Гольдберг, О.Д. Надёжность электрических машин общепромышленного и бытового назначения : материалы лекций. -М.: Знание, 1976. -57 с.
- 5 Перепечко, И.И. Акустические методы исследования полимеров / И.И. Перепечко. -М.: Химия, 1973. -289 с.
- 6 Ермолов, И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля / И.Н. Ермолов. -М.: Машиностроение, 1981. -240 с.: ил.
- 7 Козырев, Н.А. Изоляция электрических машин и методы её испытаний / Н.А. Козырев. -М.; Л.: Госэнергоиздат, 1962. -264 с.
- 8 Кан, К.Н. Механическая прочность эпоксидной изоляции / К.Н. Кан, А.Ф. Николаевич, В.М. Шанников. -Л.: Энергия, 1973.
- 9 Надёжность изоляции электрических машин / А.И. Галушко [и др.]. -М.: Энергия, 1979. -176 с.: ил.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: диагностика состояния, полимерная изоляция

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Герцен Николай Теодорович, канд. техн. наук, заведующий лабораторией ГОУ ВПО «Алтайский ГТУ им. И.И. Ползунова»

Суханкин Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, заместитель заведующего лабораторией ГОУ ВПО «Алтайский ГТУ им. И.И. Ползунова»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ГОУ ВПО «Алтайский ГТУ им. И.И. Ползунова»

## ИЗМЕРЕНИЕ УПРУГИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Н.Т. Герцен, Г.В. Суханкин

MEASUREMENT OF ELASTIC INDICATORS OF ISOLATION OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS  
«Altay state technical university of I.I. Polzunova»  
N.T. Gercen, G.V. Suhankin

The measuring system for an estimation of a condition of isolation of asynchronous electric motors on the basis of attenuation of the acoustic wave generated by interaction of conductors of a winding, being energized is offered. On size of attenuation of the sound extending in isolation, it is possible to judge degree of its thermal ageing at various operation phases of asynchronous electric motors.

Предложена измерительная система для оценки состояния изоляции асинхронных двигателей на основе затухания акустической волны, генерируемой взаимодействием проводников обмотки, находящейся под напряжением. По величине затухания звука, распространяющегося в изоляции, можно судить о степени её теплового старения на различных этапах эксплуатации асинхронных двигателей.

Российская промышленность нуждается в современном электроприводе, поэтому особую роль приобретает фактор надёжности и длительной безремонтной работы электродвигателей любого типа. В процессе эксплуатации изоляция электрических машин подвергается комплексному воздействию электрического поля, нагрева, влаги, внешней агрессивной среды, механических напряжений, колебаний температур, активных химических веществ и т.д. В результате этого, в полимерных изоляционных материалах возникают как обратимые, так и необратимые процессы, которые приводят к ухудшению их диэлектрических и физико-механических показателей. Степень ухудшения физико-механических показателей, а, следовательно, самой изоляции можно контролировать измерением затухания акустической волны, возникающей вследствие микроперемещений проводников обмотки.

Акустическое давление в элементарном объёме изоляции создаёт два типа напряжений: нормальные –  $T_{xx}, T_{yy}, T_{zz}$  и тангенциальные –  $T_{xy}$  и  $T_{yz}$  и  $T_{zx}, T_{yx}$  и  $T_{xz}$ . Напряженное состояние полимерного материала характеризуется тензором третьего ранга

$$T_{ik} = \begin{pmatrix} T_{xx} & T_{xy} & T_{xz} \\ T_{yx} & T_{yy} & T_{yz} \\ T_{zx} & T_{zy} & T_{zz} \end{pmatrix}.$$

В этом тензоре компонент напряжения выражается первым индексом, а вторым – ориентация площадки, на которую эта сила действует. Если полимерная изоляция находится в состоянии равновесия, то нормальные компоненты, действующие по осям в прямом и обратном направлении равны. Следовательно,  $T_{xy} = T_{yx}$ ,  $T_{zy} = T_{yz}$ ,  $T_{xz} = T_{zx}$ . В этом случае тензор является симметричным [1].

Соответствующим образом выглядят компоненты тензора деформации

$$\varepsilon_{ik} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{pmatrix}.$$

Приведенный тензор является симметричным, а диагональные компоненты определяются соотношениями:

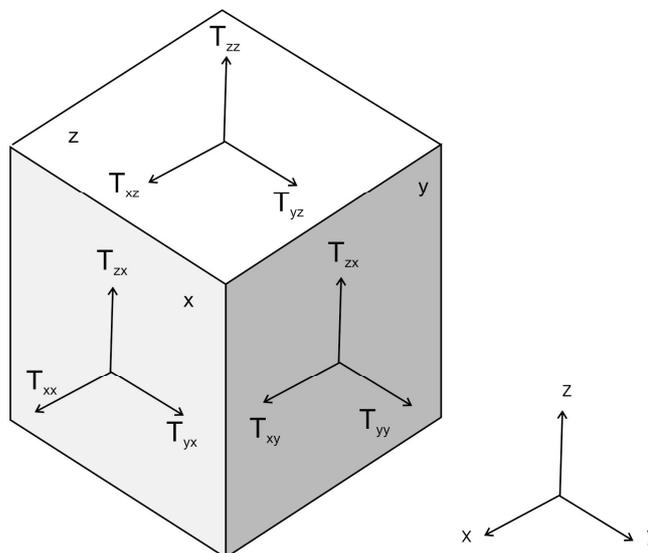


Рисунок 1 – Компоненты тензора напряжения в элементарной ячейке полимерной изоляции электрической машины

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u_x}{\partial x}; \varepsilon_{yy} = \frac{\partial u_y}{\partial y}; \varepsilon_{zz} = \frac{\partial u_z}{\partial z},$$

где  $u_x, u_y, u_z$  – компоненты вектора смещения, представляют собой удлинения ребер куба  $\partial x, \partial y$  и  $\partial z$  (рисунок 2).

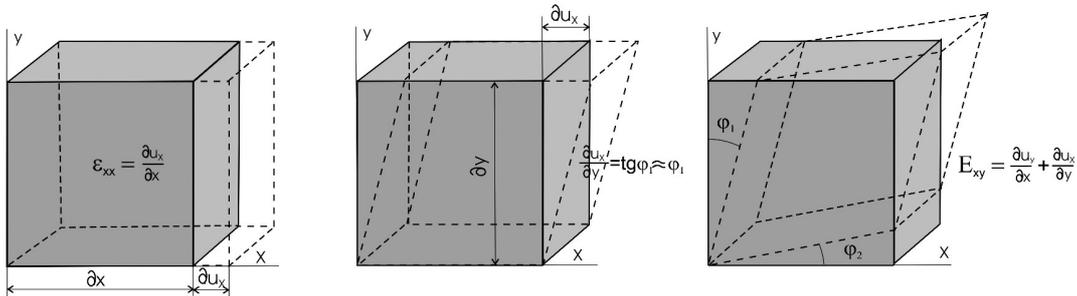


Рисунок 2 – Компоненты тензора деформации в изоляции

Компоненты

$$\varepsilon_{xy} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right); \varepsilon_{xz} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right); \varepsilon_{yz} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \right),$$

представляют собой одновременный сдвиг двух граней куба (рисунок 2). Для упрощения расчетов модель полимерной изоляции представлена в виде изотропного тела, свойства которого не зависят от направления. Для такого тела связь между компонентами  $T_{ik}$  и  $\varepsilon_{ik}$  при  $i$  не равно  $k$  выражается законом Гука [1]

$$T_{ii} = \lambda \varepsilon + 2\mu \varepsilon_{ii}; T_{ik} = 2\mu \varepsilon_{ik}. \quad (1)$$

Величина  $\varepsilon = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}$  обозначает изменение единицы объема;  $\lambda$  и  $\mu$  – упругие постоянные, называемые константами Ламе. Вместо них можно использовать две другие константы упругости, например, модуль нормальной упругости  $E$  и модуль сдвига  $G$  или  $E$  и коэффициент Пуассона  $\mu$ .

Волновое уравнение для полимерной изоляции записывается путем использования второго закона Ньютона к элементарному объему  $dx dy dz$  твердого тела. Подставляя вместо напряжения деформации из (1), получаем уравнения распространения волн в полимерной изоляции [1]:

$$\rho \frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \mu \nabla u_x; \rho \frac{\partial^2 u_y}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + \mu \nabla u_y; \rho \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} + \mu \nabla u_z, \quad (2)$$

где  $\nabla = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$  – оператор Лапласа.

При численном анализе широко используется разностная форма уравнения Лапласа. Всё пространство изоляции разбивается сеткой на квадратные ячейки (рисунок 3). Функция волны в точке  $(x, y)$  определяется в двухмерном случае уравнением

$$\phi(x, y) \approx \frac{1}{4} \{ \phi[x + \Delta x, y + \phi(x - \Delta x, y)] + \phi[x, y + \Delta y, \phi(x, y - \Delta y)] \}.$$

В соответствии с уравнениями (2) в полимерной изоляции могут существовать два типа волн: продольные и сдвиговые (поперечные). Дифференцируя уравнения (2) по  $x, y, z$  и производя соответственно суммирование, имеем что

$$\frac{d^2 \varepsilon}{dt^2} = \frac{\lambda + 2\mu}{\rho} \nabla \varepsilon. \quad (3)$$

Из этого уравнения следует, что объемное расширение  $\varepsilon$  распространяется со скоростью

$$c_l = \sqrt{\rho(\lambda + 2\mu)}.$$

При  $\varepsilon = 0$  из уравнения (3) для одной из координат

$$\frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2} = \frac{\mu}{\rho} \nabla u_x. \quad (4)$$

Приведённое уравнение характеризует сдвиговую деформацию. Таким образом, сдвиг распространяется со скоростью [1, 2]

$$c_t = \sqrt{\mu/\rho}.$$

Рассмотрим волновой процесс в полимерной изоляции на основе наиболее простого волнового уравнения (4) перейдя от смещения  $u$  к амплитуде волны  $a$ . Одновременно введём упрощение: функция  $\psi$  зависит от одной координаты, например,  $x$ . Тогда уравнение (4) преобразуется в следующий вид

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = c^2 \nabla \psi.$$

Решение подобного уравнения в частных производных имеет вид

$$\psi = \psi_1(x - ct) + \psi_2(x + ct),$$

где  $\psi_1, \psi_2$  – функция волны, распространяющаяся в прямом и обратном направлениях. Для упрощения решения задачи опустим слагаемое с  $\psi_2$ .

Предположим, что распространяющаяся волна является гармонической, тогда

$$\psi = A \cos \left[ \frac{\omega}{c} (x - ct) \right], \tag{5}$$

где  $A$  – амплитуда волны;  
 $\omega = 2\pi f$  – круговая частота;  
 $f$  – частота колебаний;  
 $\left( \frac{\omega}{c} (x - ct) \right)$  – фаза.

С учётом волнового числа  $k = \omega/c = 2\pi/\lambda$  уравнение (5) приобретает вид

$$\psi = A \cos(kx - \omega t). \tag{6}$$

Экспоненциальная форма уравнения (6)

$$\psi = A \exp[i(kx - \omega t)].$$

Физический смысл имеет действительная часть комплексной величины  $\bar{\psi}$ , то есть  $\psi = \text{Re} \bar{\psi}$ . В полимерной среде необходимо учитывать затухание акустической волны, связанное с внутренним трением, неидеальным упругим свойствам и другим эффектам. Коэффициент затухания складывается из коэффициентов поглощения  $\alpha$  и коэффициента рассеяния  $\delta$ . При поглощении звуковая энергия переходит в тепловую, а при рассеянии энергия остаётся звуковой, но уходит от направления волны в результате многократных отражений от неоднородностей структуры изоляции. Для упрощения решения задачи будем учитывать только поглощение звука введением мнимой части в волновое число  $k = 2\pi/\lambda + i\alpha$ . Таким образом, распространяющаяся в полимерной изоляции акустическая волна подчиняется соотношению

$$\psi = A \exp[i(kx - \omega t) - \alpha x], \tag{7}$$

где  $x$  – путь распространения волны.

Учитывая, что

$$\alpha = 2 \left( -2E\pi^2\lambda^2 - \pi^2\lambda\rho c^2 + \sqrt{4E\pi^4\lambda^4\rho c^2 + 4E\pi^4\lambda^6\rho c^2 + \pi^4\lambda^8\rho c^4} \right),$$

где  $\lambda$  – длина волны;

$\rho$  – плотность изоляции;

$c$  – скорость волны;

$E$  – упругость изоляции, выражение (7) преобразуется в (8)

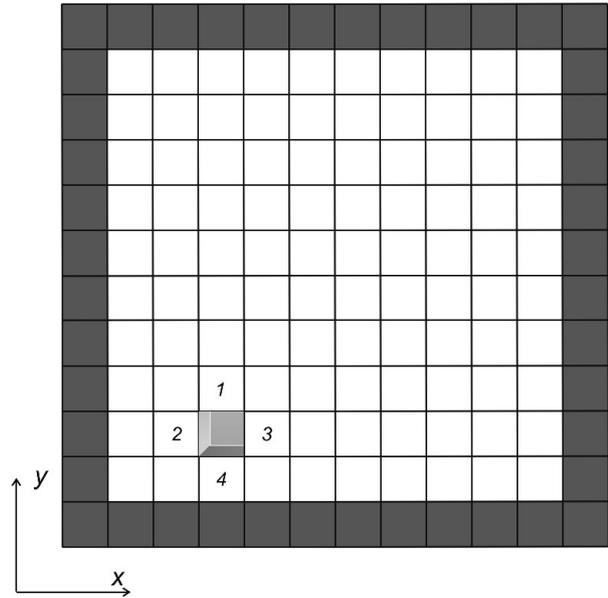


Рисунок 3 – Модель двумерной изоляции, в которой используется дискретный аналог уравнения Лапласа: краевые ячейки отмечены серым цветом; внутренние – белым; 1, 2, 3, 4-соседние ячейки

$$A = A_0 \exp \left\{ -\frac{x}{E\lambda^2} \left[ 2 \left( -2E\pi^2\lambda^2 - \pi^2\lambda\rho c^2 + \sqrt{4E\pi^4\lambda^4\rho c^2 + 4E\pi^4\lambda^6\rho c^2 + \pi^4\lambda^8\rho c^4} \right) \right] \right\}; \quad (8)$$

$A_0$  – начальная амплитуда.

Известно, что сила взаимодействия двух проводников с током [3]

$$F = \frac{\mu\mu_0 i_1 i_2 l}{a}, \quad (9)$$

где  $\mu$  – магнитная проницаемость;

$\mu_0$  – магнитная постоянная, сила тока в проводниках;

$a$  – расстояние между проводниками;

$l$  – длина проводников.

Сила взаимодействия двух проводников в модели паза обмотки асинхронного двигателя (рисунок 4)

$$F = \frac{\mu\mu_0 i^2}{2\pi a} l, \quad (10)$$

так как ток в проводниках имеет одинаковое значение. На площадку, ограниченную длиной  $l$  и высотой, равной диаметру проводника  $d$ , площадью  $S$  действует давление  $P$  равное отношению силы  $F$  к площади  $S$ .

Таким образом, если перейти от амплитуд звуковой волны к звуковым давлениям, то

$$P = P_0 \exp \left\{ -\frac{x}{E\lambda^2} \left[ 2 \left( -2E\pi^2\lambda^2 - \pi^2\lambda\rho c^2 + \sqrt{4E\pi^4\lambda^4\rho c^2 + 4E\pi^4\lambda^6\rho c^2 + \pi^4\lambda^8\rho c^4} \right) \right] \right\}. \quad (11)$$

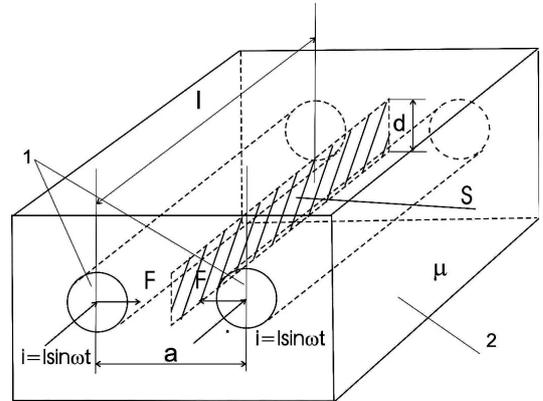


Рисунок 4 – Модель паза обмотки асинхронного двигателя: 1-проводники обмотки; 2-изоляция

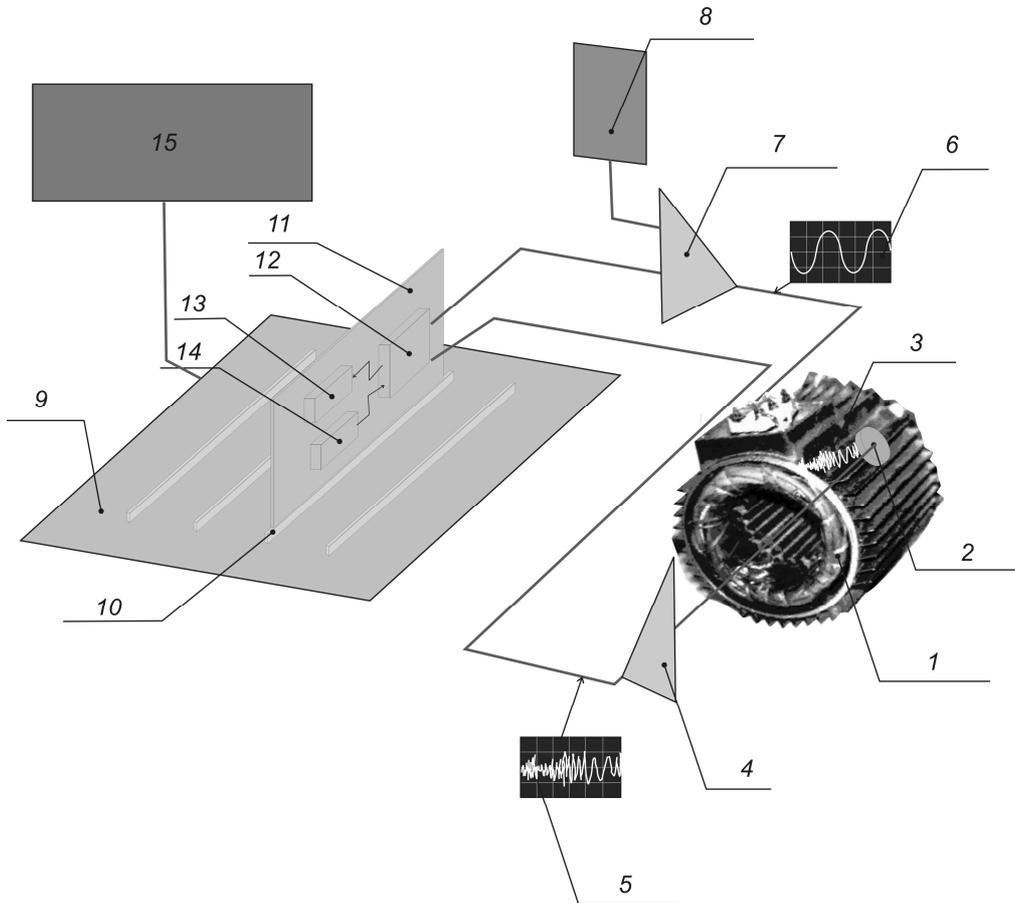


Рисунок 5 – Быстродействующая схема сопряжения измерительного комплекса: 1-обмотка статора; 2-датчик, 3-диагностический сигнал; 4, 7-усилители; 5-усиленный сигнал; 6-тестовый синусоидальный сигнал; 8-источник тока; 9-материнская плата; 10-шина PCI; 11-измерительная карта; 12-буфер ввода-вывода; 13-ЦАП; 14-АЦП; 15-программный комплекс

Формула (11) связывает акустическое давление на поверхности асинхронного двигателя и упругие показатели изоляции обмотки, что позволяет проводить их измерение.

На основе вышеизложенной теории разработан измерительный комплекс (рисунок 5). Для исследования упругих характеристик полимерных материалов и изоляции создана экспериментальная установка, включающая в себя аппаратное и программное обеспечение.

Измерительный комплекс позволяет контролировать изменение нормированного  $E$  в процессе старения изоляции асинхронного двигателя (рисунок 6) [4, 5].

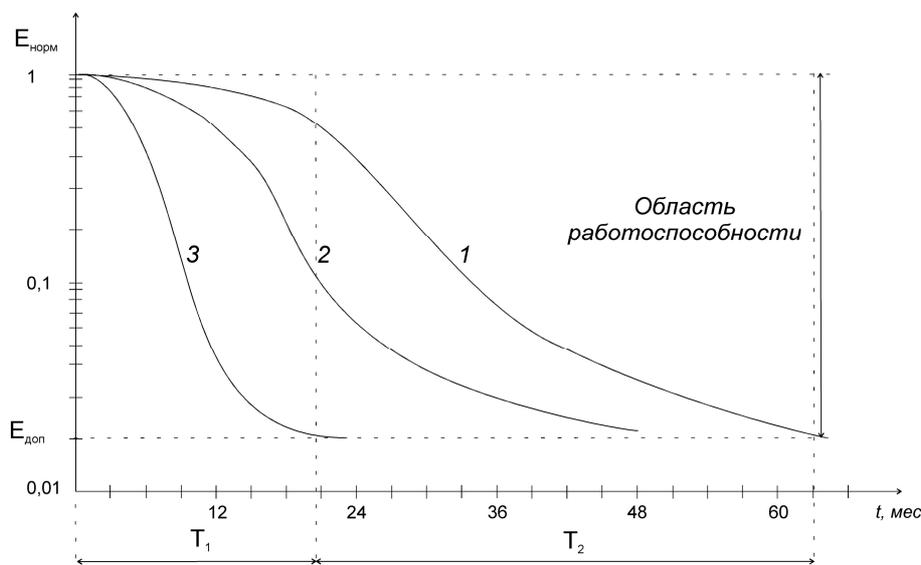


Рисунок 6 – Изменение нормированного  $E$  в процессе старения изоляции асинхронного двигателя:  $T_1$ -период нормальной эксплуатации;  $T_2$ -период старения; режимы эксплуатации: 1-нормальный, 2-повышенная влажность и температура, 3-резкие колебания температуры, повышенная вибрация и влажность

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ермолов, И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля / И.Н. Ермолов. -М.: Машиностроение, 1981. -240 с.: ил.
- 2 Перепечко, И.И. Акустические методы исследования полимеров / И.И. Перепечко. -М.: Химия, 1973. -289 с.
- 3 Кошкин, Н.И. Справочник по элементарной физике / Н.И. Кошкин, М.Г. Ширкевич. -М.: Наука, 1975. -256 с.: ил.
- 4 Суханкин, Г.В. Ультразвуковая диагностика изоляции обмоток асинхронных электродвигателей в условиях агропромышленного комплекса: дис. ... канд. техн. наук / Г.В. Суханкин. -Барнаул, 2002. -187 с.
- 5 Герцен, Н.Т. Акустическая диагностика изоляции обмоток асинхронных двигателей в сельскохозяйственном производстве: дис. ... канд. техн. наук / Н.Т. Герцен. -Барнаул, 2007. -143 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

асинхронный двигатель, старение изоляции

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Герцен Николай Теодорович, канд. техн. наук, заведующий лабораторией ФГОУ ВПО «Алтайский ГТУ им. И.И. Ползунова»

Суханкин Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, заместитель заведующего лабораторией ФГОУ ВПО «Алтайский ГТУ им. И.И. Ползунова»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ГОУ ВПО «Алтайский ГТУ им. И.И. Ползунова»

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ И ЗОЛОТОЕ СЕЧЕНИЕ

Политехнический институт ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

А.Ю. Южанников, В.К. Кистенев, М.Ю. Южанников

### FORECASTING OF THE POWER CONSUMPTION OF TRACTION SUBSTATIONS AND GOLDEN SECTION

Polytechnical institute «Siberian federal university»

A.Yu. Yuzhannikov, V.K. Kistenev, M.Yu. Yuzhannikov

Possibility of forecasting of a power consumption of traction substations of railways with application of the price approach is considered. As a curve of specific distribution the hyperbolic curve on the basis of golden section proportions is used. The algorithm of calculations is resulted and results of forecasting on concrete examples of traction substations are shown.

Рассмотрена возможность прогнозирования электропотребления тяговых подстанций железных дорог с применением ценологического подхода. В качестве кривой видового распределения используется гиперболическая кривая на основе пропорций золотого сечения. Приведен алгоритм расчетов и показаны результаты прогнозирования на конкретных примерах тяговых подстанций.

Существующие методы прогнозирования электрических нагрузок формализуют расчеты на основе классических представлений электротехники и методах математической статистики. Но расчет электрических нагрузок, опирающийся только на классический аппарат, не может обеспечить достаточную точность при прогнозировании процессов в сложных электротехнических системах.

Законы развития техники, включающей отдельные элементы, и живой природы, состоящей из отдельных особей, имеют много общего. Поэтому представляется возможным описывать объекты электрической системы на основе ценологических понятий. Подобные системы такой сложности рассматриваются в других направлениях науки как ценозы (биоценозы, техноценозы, бизнесценозы и т.д.). Тогда при изучении технических систем возможно ввести понятия из биологии: вид, особь, ценоз.

Известно, что в 1877 г. при исследовании свойств отдельных особей и совокупностей живых организмов Клаус Фердинанд Мебиус ввел понятие «биоценоз». Биоценоз – совокупность живых организмов, обитающих на определенном участке, где условия внешней среды определяют его видовой состав. Термин «техноценоз» и ценологический подход предложены в 1974 г. замечательным ученым Б.И. Кудриным, где техноценоз определяется как сообщество всех изделий, включающее все популяции, ограниченное в пространстве и времени [1].

Техноценоз – система искусственного происхождения, выделяемая для целей исследования, проектирования, обеспечения функционирования и управления. Устойчивость системы обусловлена действием законов энергетического и информационного отборов по аналогии с живыми системами, где действует закон естественного отбора. Данная теория предполагает существование некоторого идеального распределения элементов ценоза.

Объясним существование идеальной технической системы с точки зрения гармонии и золотого сечения. Гармония и идеальное распределение видов ценоза как системы, выполняющей свое функциональное назначение, подчиняются золотому сечению, а понятие «золотое сечение» неразрывно связано с числами Фибоначчи.

Считается, что деление отрезка в среднем и крайнем отношении впервые было осуществлено 2500 лет назад Пифагором – великим философом и математиком древней Греции. Он показал, что отрезок единичной длины  $AB$  можно разделить точкой  $C$  на две части так, что отношение большей части ( $CB = x$ ) к меньшей ( $AC = 1 - x$ ) будет равняться отношению всего отрезка ( $AB = 1$ ) к большей части ( $CB$ ):  $CB/AC = (AC + CB)/CB$ , или  $x/(1 - x) = 1/x$ . Отсюда следует алгебраическое выражение  $x^2 + x - 1 = 0$ . Положительным корнем этого уравнения является  $(-1 + \sqrt{5})/2$ , так что отношения в рассматриваемой пропорции равны:  $1/x = 1,61803\dots$ . Число 1,618 обозначается буквой  $F$  в честь древнегреческого скульптора Фидия. Единичный отрезок  $AB$  ( $0,382 + 0,618 = 1$ ) делится точкой  $C$  в соответствии с пропорцией  $1 : 0,618 = 0,618 : 0,382 = 1,618$ .

Такое отношение принято называть золотой пропорцией, а соответствующее деление отрезка – золотым делением [2].

В 1202 г. вышло в свет сочинение «*Libro abacci*» итальянского купца и математика Леонардо Пизанского (предположительно 1180-1240 гг.), известного как Фибоначчи. Часть этого трактата составляла задача про кроликов, которая гласила: «Сколько пар кроликов родится в течение года, если через месяц пара кроликов производит на свет другую пару, а рожают кролики со второго месяца своего рождения?».

Решая эту задачу, Фибоначчи получил последовательность чисел, где последующее число равно сумме двух предыдущих чисел: 1; 1; 2; 3; 5; 8; 13; 21; 34; 55, и т.д., отношение соседних членов которой по мере удаления от начала стремится к величине  $F = 1,618$  (Золотое сечение). Эта последовательность получила название ряда Фибоначчи.

В нашу задачу входит показать значение золотого сечения и чисел Фибоначчи в сфере организации электротехнических систем по аналогии с живой природой. Если взять числовой ряд: 1,0; 0,62; 0,38; 0,24; 0,15; 0,09 и т.д. (что напоминает шкалу мощностей трансфор-

маторов), состоящий из чисел с коэффициентом 1,618 и аппроксимировать этот ряд, то получим гиперболическую кривую (рисунок 1), которая описывается следующей формулой [3]

$$\Phi_r = \frac{\Phi_1}{r^\beta},$$

где  $\beta = 1,618$  – ранговый коэффициент.

Этим числовым рядом можно описывать при ранжировании в ценозе соотношение количества видов и численности каждого вида. На основании техноценологического подхода предлагается новый метод прогнозирования электропотребления. Покажем действие данного метода на примере тяговых подстанций.

Предлагаемый метод включает следующие этапы:

1 Ценоз выделяется в пространстве и времени как некоторая система. Этап по определению ценоза представляет собой процедуру выделения системы, состоящей из отдельных технических изделий, изготовленных по разной технической документации, не связанных друг с другом сильными связями, например, Забайкальская железная дорога.

2 Из ценоза выделяется семейство (особь) элементарных объектов далее не делимых – тяговые подстанции. За исследуемый параметр вида нами принято электропотребление за месяц –  $W$  активной энергии тяговыми подстанциями (рисунок 2).

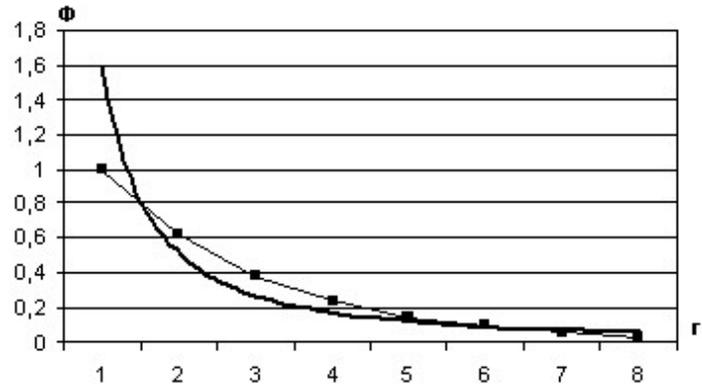


Рисунок 1 – Гиперболическая кривая

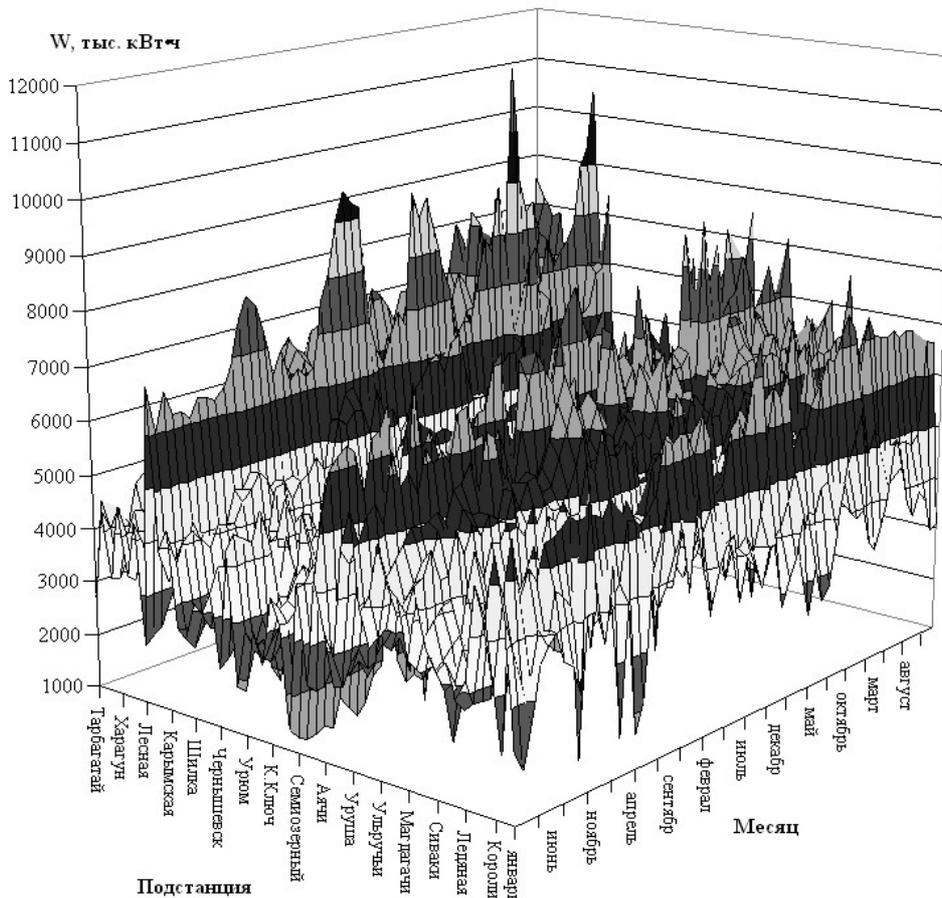


Рисунок 2 – Потребление активной энергии ТП Забайкальской железной дороги за 5 лет

3 Строятся математические модели структуры ценозов по мере убывания исследуемого параметра – ранговое распределение.

4 Проводится обработка результатов известными методами. Электропотребление подстанций располагаем в порядке убывания исследуемого параметра и присваиваем каждому объекту порядковый номер ( $r$  – ранг). Строим зависимость  $W(r)$  – ранговое распределение (рисунок 3).

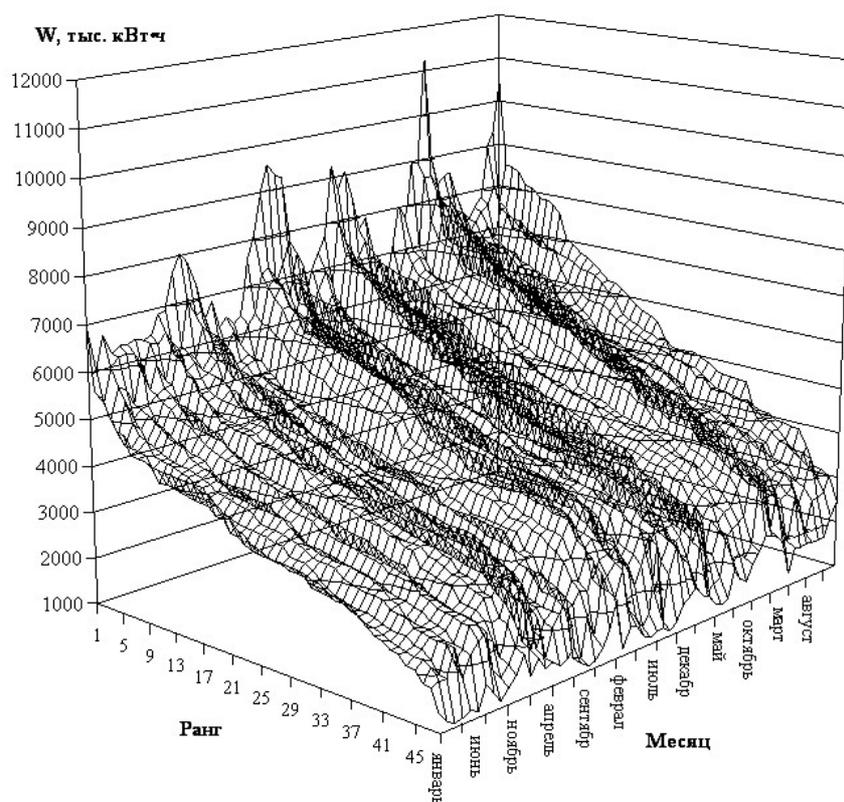


Рисунок 3 – Ранговое распределение электропотребления

В качестве основы для построения математической модели, выбрана гиперболическая зависимость –  $H$ -распределение

$$W(r) = \frac{W_1}{r^\beta},$$

где  $W(r)$ ,  $W_1$  – электропотребление объекта с рангом  $r$  и с первым рангом;

$\beta$  – ранговый коэффициент, характеризующий степень крутизны кривой.

Определив параметры рангового распределения по всей длине предыстории функции  $W(r)$  можно получить сглаживающую поверхность исследуемого параметра (рисунок 4).

Для выявления тесноты связи между показателями рангового распределения был взят коэффициент конкордации

$$k = \frac{12 \sum_{r=1}^n D_r^2}{m^2 (n^3 - n)},$$

где  $m$  – количество ранговых распределений;

$n$  – количество рангов;

$D_r$  – отклонение суммы рангов одного распределения от их средней суммы для всех распределений исследуемого интервала.

Рассчитанный коэффициент конкордации равен 0,66, что свидетельствует о стабильности ранговой поверхности в целом. Это позволяет использовать имеющуюся базу данных для прогнозирования электропотребления объектов техноценоза. Прогнозирование электропотребления с учётом применения аппарата  $H$ -распределения (рисунок 5) заключается в подборе многочлена, который наилучшим образом описывает тенденцию развития процесса электро-потребления объекта с первым рангом  $W_1$  и ранговым коэффициентом  $\beta_1$  [4].

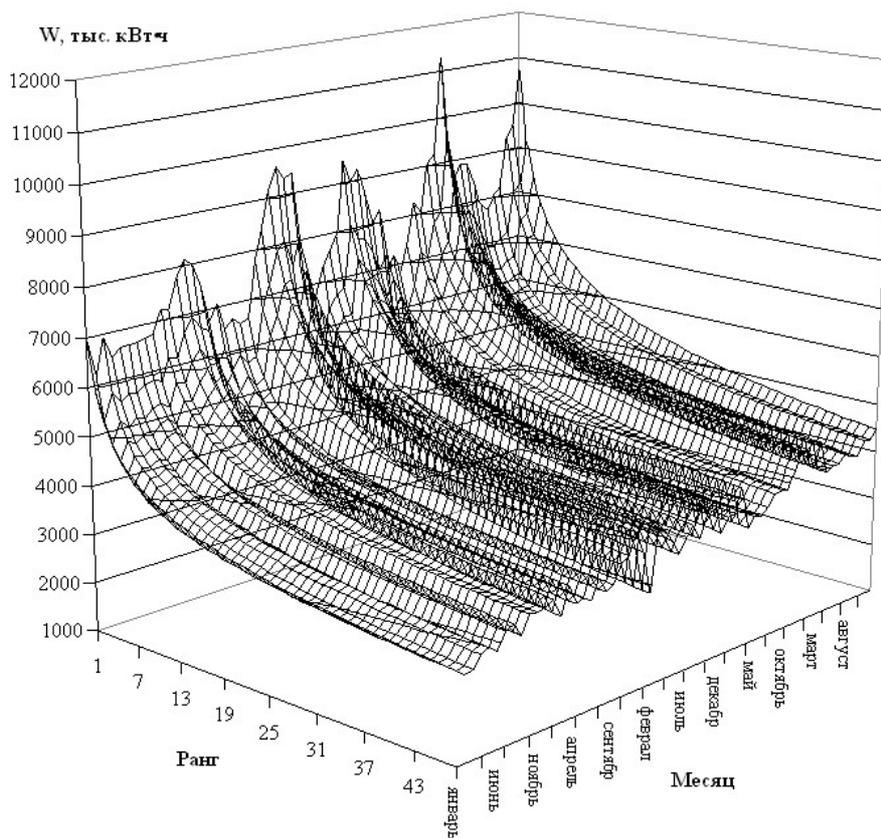


Рисунок 4 – Математическая модель рангового распределения

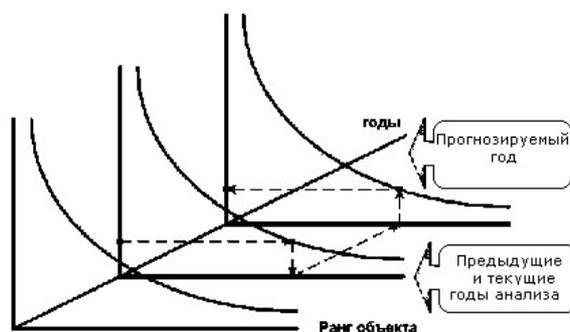


Рисунок 5 – Прогнозирование электропотребления

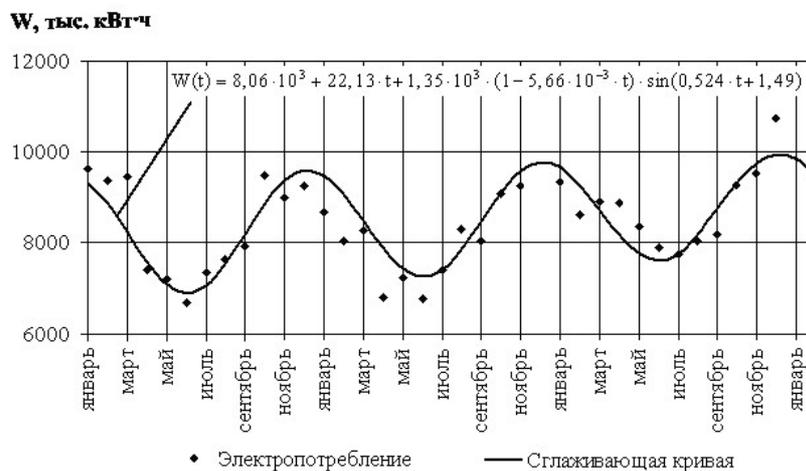


Рисунок 6 – Прогнозное значение электропотребления объекта с первым рангом (максимальным электропотреблением)

Для прогнозирования электропотребления объекта с рангом 1 используется функция вида

$$W_1(t) = A + Bt + C(1 + Dt) \sin(\omega t + \varphi),$$

где  $A, B, C, D, \omega, \varphi$  – параметры уравнения регрессии.

Как видно на рисунке 6 уравнение регрессии  $W_1(t)$  хорошо описывает закономерности в изменении энергопотребления с учётом сезонных циклов и общей тенденцией к росту в технонозе – Забайкальской железной дороге.

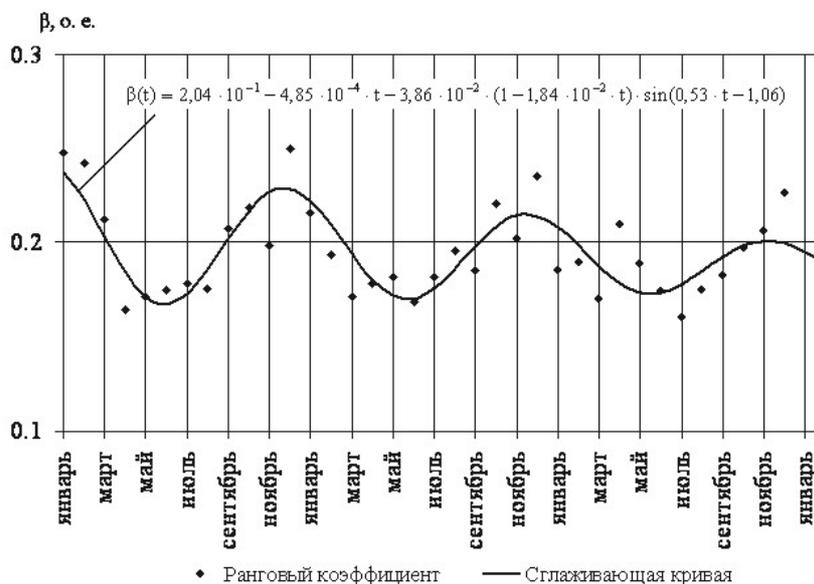


Рисунок 7 – Прогнозное значение для рангового коэффициента

Далее определяем расчётный ранг последнего известного месяца предыстории

$$r_{расч} = \left( \frac{W_1^t}{W_r^t} \right)^{1/\beta^t}.$$

Введение расчётного ранга необходимо в связи с тем, что на практике регрессионная кривая не проходит точно через все фактические точки, поэтому расчётный ранг не равен целому числу.

Определяем прогнозное значение электропотребление по формуле

$$W_i^{t+1} = \frac{W_1^{t+1}}{r_{расч}^{\beta^{t+1}}}.$$

Прогнозируется суммарное электропотребление

$$W_{\Sigma}^{t+1} = \sum_{i=1}^r W_i^{t+1}.$$

Производим оценку прогнозного значения электропотребления (рисунок 8)

$$\varepsilon_{\%} = \frac{W_{факт} - W_{прогн}}{W_{факт}} 100\%.$$

Применение предлагаемой методики при прогнозировании электропотребления для тяговых подстанций (на примере Забайкальской железной дороги), получающих питание от энергосистем Читаэнерго и Амурэнерго, позволило выявить следующее:

- заявленные филиалом ОАО «РЖД» договорные величины электрической энергии по каждой из энергосистем в среднем на 15-20% завышены;
- прогнозирование по данному методу отличается в лучшую сторону от контрольных прогнозов по наиболее распространённым экстраполяционным методам.

Преимущество модели заключается также в том, что она не требует привлечения большого количества данных, как это требуется в многофакторных моделях. Данная методика обеспечивает приемлемую точность, необходимую для заключения договоров с энергосистемами и позволяет находить новые пути в решении вопросов энергосбережения.

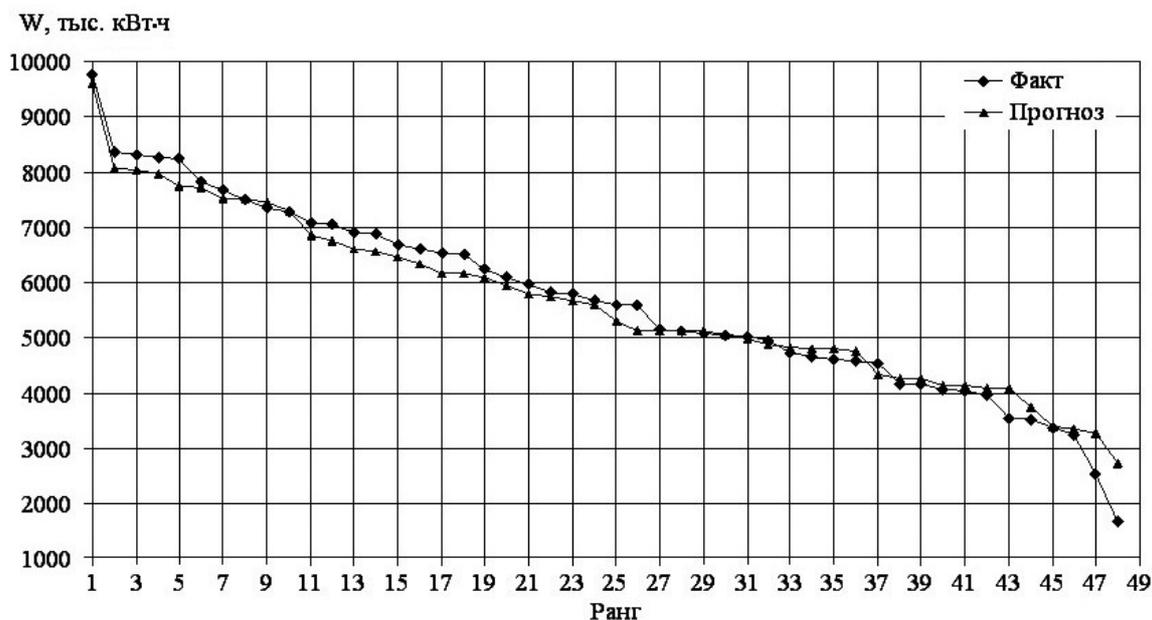


Рисунок 8 – Прогнозное и фактическое значение электропотребления

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кудрин, Б.И. Введение в технетику / Б.И. Кудрин. -Томск: Изд-во ТГУ, 1993. -552 с.
- 2 Коробко, В.И. Золотая пропорция и человек / В.И. Коробко, Г.Н. Коробко. -М.: Изд-во Междунар. ассоц. вузов, 2002. -394 с.
- 3 Южанников, А.Ю. Золотое сечение, числа Фибоначчи и ценологические параметры электропотребления промышленного предприятия / А.Ю. Южанников // Вестн. Ассоц. Вып. КГТУ / под ред. А.А. Михеева. -Красноярск, 2005. -Вып. 12. -С. 165-169.
- 4 Кистенёв, В.К. Прогнозирование электропотребления Забайкальской железной дороги на тягу поездов на основе устойчивого Н-распределения / В.К. Кистенёв, П.Ю. Лукьянов // Вестн. Ассоц. Вып. КГТУ / под ред. А.А. Михеева. -Красноярск, 2005. -Вып. 12. -С. 223-231.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** техноценоз, электропотребление, прогнозирование, тяговые подстанции, золотое сечение, числа Фибоначчи

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Южанников Александр Юрьевич, канд. техн. наук, профессор Политехнического института ФГОУ ВПО «СФУ»  
Кистенев Вячеслав Константинович, канд. техн. наук, доцент Политехнического института ФГОУ ВПО «СФУ»  
Южанников Михаил Юрьевич, аспирант Политехнического института ФГОУ ВПО «СФУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26, а/я 16690

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УСТРОЙСТВА ДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

В.И. Зацепина, И.Г. Шилов

**SIMULATION MODEL OF THE DEVICE OF THE DYNAMIC COMPENSATION OF OVER VOLTAGES**

«Lipetsk state technical university»

V.I. Zatsepina, I.G. Shilov

The developed simulation model of the device for dynamic compensation of over voltages in electric networks, technical parameters and algorithms of process of phase modulation are presented.

Представлена разработанная имитационная модель устройства для динамической компенсации перенапряжений в электрических сетях, технические параметры и алгоритмы процесса фазомодулирования.

Перенапряжения в электрических сетях 6-10 кВ оказывают существенное влияние на изоляцию оборудования. Эта проблема наиболее актуальна для предприятий с тяжелыми условиями эксплуатации электроустановок. Перенапряжения возникают на зажимах элек-

тродвигателей и трансформаторов при их переключении, на секциях шин подстанций в результате отключений нагруженных линий. Для их защиты предлагается использовать устройство для динамической компенсации перенапряжения (ДКП). Принцип его работы основан на введении отрицательного напряжения  $U_{ДКП}$ . Его величина динамически регулируется тиристорным преобразователем (ТП), который подключают последовательно к нагрузке посредством вольтодобавочного трансформатора (Т) (рисунок 1).

Управлению подвергаются амплитудные напряжения фазы. Это и позволяет погасить перенапряжения на стороне нагрузки  $U_{НАГ}$  сети. Компенсировать следует прямую и обратную составляющую на входе ДКП. Для распределительной сети с понижающими трансформаторами характерно отсутствие нулевой последовательности напряжения из-за их бесконечно высокого сопротивления. Функция по блокировке реализуется в трансформаторе 1-Т1. Это задается схемой соединения обмотки в треугольник (рисунок 1.) Конденсатор цепи постоянного тока между зарядным устройством и преобразователем служит энергетическим «демпфером» ДКП. Большую часть времени устройство ДКП находится в режиме ожидания, контролируя напряжение на шине. Независимо от нагрузки оно не вводит дополнительную составляющую  $U_{ДКП}$ . Обмотка низкого напряжения у вольтодобавочного трансформатора замыкается накоротко через ТП. Переключения не происходит – фазы ТП создают короткозамкнутую цепь, подводимое напряжение и магнитный поток равны нулю.

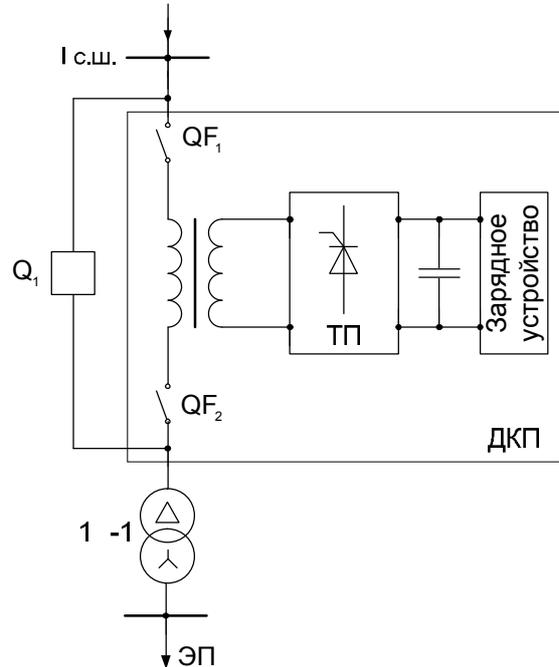


Рисунок 1 – Принципиальная схема включения устройства ДКП

Задача конденсатора в цепи контура постоянного тока ДКП между зарядным устройством и тиристорным преобразователем заключается в генерации реактивных мощностей в сеть для ограничения перенапряжений. При повышении напряжения на секциях шин подстанции или в распределительной сети 6-10 кВ более чем на 10% устройство ДКП реагирует на динамическое погашение перенапряжения. В аварийном случае выполняется коммутация выключателей  $QF_1$ ,  $QF_2$  с согласованным отключением резервирующего  $Q_1$  в оперативного ввода ДКП. Аппаратная часть преобразователя фиксирует резкое увеличение номинала уровня напряжения. Задается кратность как разница между фактическим действующим напряжением  $U_{СЕТИ}$ . Реализуется алгоритм широтно-импульсной модуляции сигнала с формированием погашаемого напряжения требуемой амплитуды, частоты и угла фазового сдвига. Время реакции, определяющее продолжительность оперативного действия по аппаратной части ТП составляет не более 0,001 с. Для стабилизации уровня напряжения производятся расчеты параметров генерирующего конденсатора.

Зарядное устройство в цепи постоянного тока обеспечивает бесперебойность энергетического демпфера, образуемого для регулирования потоков мощности. Результатом согласованного функционирования является подведение дополнительной отрицательной составляющей, а ее величина формируется ТП. Выходной сигнал выражается разностью напряжений поврежденного участка сети и поданного от  $U_{ДКП}$ . Компенсированная часть имеет отрицательный знак, что дает возможность поддерживать уровень напряжения в течение устранения аварии в системе электроснабжения на стороне электроприемника в сети 6-10 кВ.

Величина компенсации  $U_{ДКП}$  рассчитывается по выражению

$$-U_{ДКП} = U_{НАГ} + Z_{СЕТИ} I_{НАГ} - U_{СЕТИ}, \quad (1)$$

где  $U_{НАГ}$  – требуемое напряжение на стороне нагрузки;

$Z_{СЕТИ}$  – полное сопротивление системы;

$I_{НАГ}$  – расчетная сила тока участка распределительной сети;

$U_{СЕТИ}$  – напряжение в момент аварийного перенапряжения.

Для апробации функциональных возможностей ДКП создана имитационная схемотехническая модель в пакете SimPowerSystems (рисунок 2).

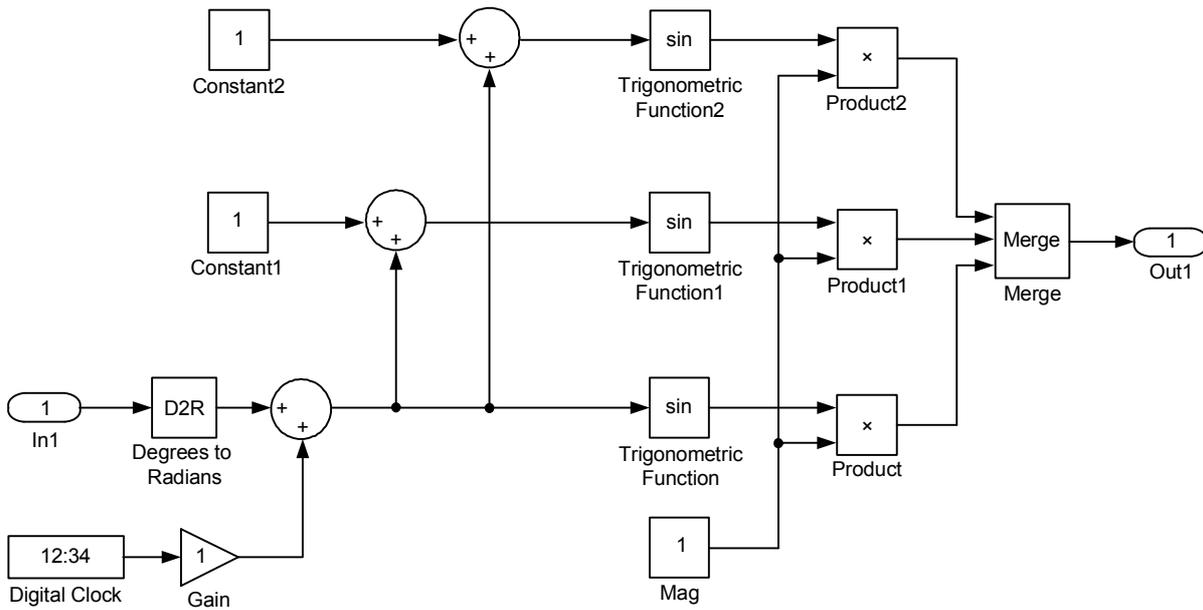


Рисунок 2 – Схемотехническая модель фазомодулирования напряжения

Использование этого программного аппарата позволяет моделировать свойства защит электрических сетей 6-10 кВ (рисунок 3). На вход сравнивающего устройства (сумматора) поступает форма перенапряжения в относительных единицах. В экспериментальном варианте его кратность составляет  $1,5U_{НОМ}$ . Параметры длительности задают согласно схеме и топологии распределительной сети с использованием блока эмуляции нарушения питания «Fault ABC». Результатом служит процесс коммутационного перенапряжения после успешного действия АПВ. Задачей устройства сравнения служит формирование амплитуды сигнала ошибки с добавлением отрицательной постоянной «Constant».

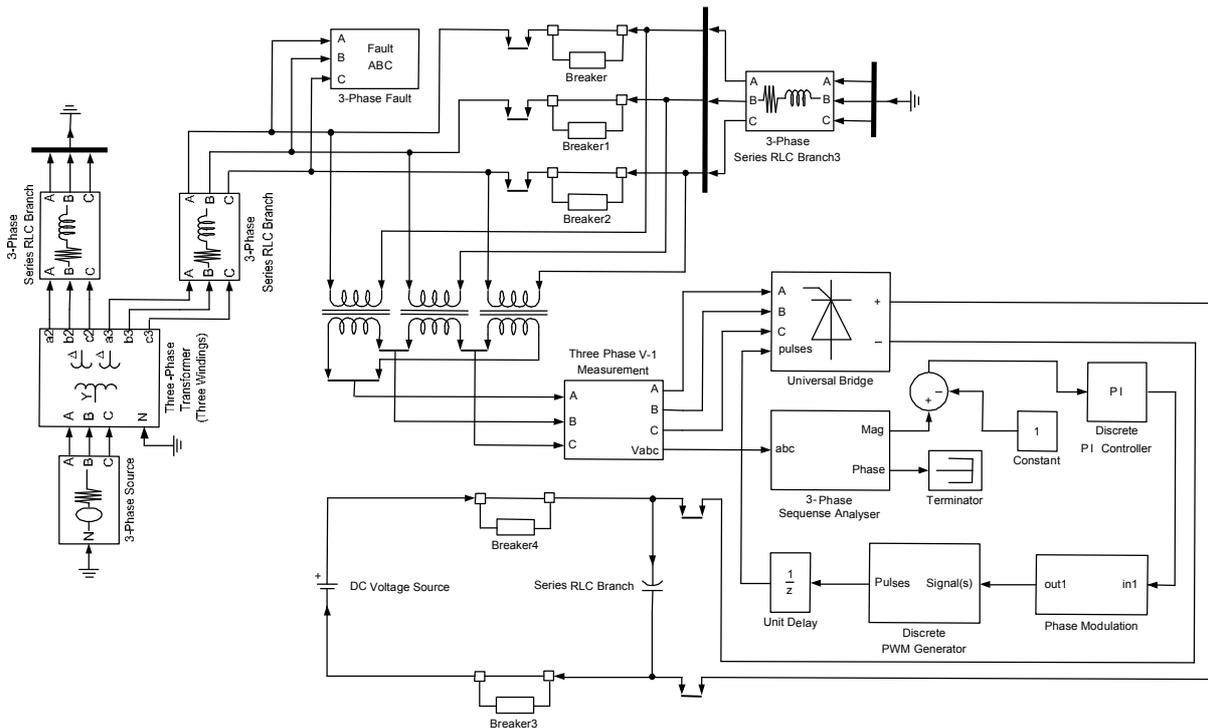


Рисунок 3 – Модель функционально-измерительной части ДКП

Задающий сигнал контролируемой величины  $U_{\text{КОНТР}}$  поступает на вход сумматора вместе с сигналом отрицательной обратной связи, который соответствует  $U_{\text{КОНТР}}$ . Разность между ними подается на вход ПИ-контроллера «Discrete PI Controller». Отклонение кривой напряжения от  $U_{\text{КОНТР}}$  есть входное воздействие  $\Delta U$ . С выхода ПИ-контроллера снимается угол  $\psi$ , оказывающий обратное действие на объект. Данный алгоритм обеспечивает ликвидацию отклонения напряжения от  $U_{\text{КОНТР}}$

$$\mu = k_{\text{упр}}\Delta U + k_{\text{инт}} \int_0^t \Delta U dt; \quad (2)$$

$$k_{\text{инт}} = T_{\text{инт}}^{-1},$$

где  $k_{\text{упр}}$  – коэффициент управления регулятора;

$k_{\text{инт}}$  – коэффициент пропорциональности интегральной составляющей;

$T_{\text{инт}}$  – постоянная времени интегрирования (параметр настройки контроллера).

Если  $k_{\text{инт}}$  отлична от нуля, то при отклонениях напряжения сигнал со временем может достичь любой величины, что приведет к перемещению регулирующего органа до момента, пока  $\Delta U$  станет равным нулю. При скачкообразном изменении  $U_{\text{СЕТИ}}$  на  $\Delta U$  ПИ-регулятор перемещает исполнительный механизм на величину  $k_{\text{КПР}}\Delta U$ . Затем он дополнительно перемещается в ту же сторону со скоростью  $\Delta U/T_{\text{ИНТ}}$ , пропорциональной отклонению. При повышении напряжения срабатывает пропорциональная (статическая) составляющая, а затем постепенно увеличивается интегральная (астатическая). Величина угла, поступающего на вход блока «Phase Modulation», определяется из фазочастотной характеристики ПИ

$$\psi = \frac{\pi}{2} + \text{arctg} \left( \frac{\Delta U}{T_{\text{инт}}} \right). \quad (3)$$

Алгоритм преобразования выходного сигнала заключается в формировании управляющего напряжения  $U_{\text{УПР}}$ . Первоначально реализуется перевод величины поступившего угла в радианы блоком «D2R». В блоке «Digital Clock» фиксируется время. «Gain» задает изменение угла, определяющее угловую частоту  $\omega t$ . Формирование синусоидальной функции идет в блоках «Trigonometric Function» с учетом взаимного смещения угла фаз «В» и «С» на  $240^\circ$  и  $120^\circ$  и амплитуды  $U_m$  в элементах «Product». Выходной сигнал образуется в блоке слияния «Merge». На входе блока «Discrete PWM Generator» дается напряжение  $U_{\text{КОНТР}}$ , соотносимое с треугольным сигналом  $U_{\text{ТРЕУГ}}$  ШИМ по амплитуде и частоте

$$k_f = f_{\text{пер}} f_1^{-1} \approx 18,8 \text{ о.е.}; \quad (4)$$

$$k_m = U_{\text{контр}} U_{\text{треуг}}^{-1} = 1 \text{ о.е.},$$

где  $f_{\text{пер}}$  – частота переключения ТП;

$f_1$  – номинальная частота сети;

$U_{\text{КОНТР}}$  – амплитуда управляющего сигнала напряжения;

$U_{\text{ТРЕУГ}}$  – амплитуда треугольного сигнала напряжения.

ШИМ используют для управления моментами коммутации ТП. После исключения обратной связи синусоида усиливается и интегрируется. Если опорный сигнал больше треугольного, то компаратор выдает «1», если меньше, то «0». На выходе формируется меандр переменной шириной импульса (переменной скважности). Из постоянного на входе преобразователя получается модулированное напряжение на выходе. Блок «Universal Bridge» представляет «универсальный мост», в котором задается число плеч моста и параметры полупроводниковых элементов ТП.

При восстановлении нормального режима питания электроприемника ЭП по результату ликвидации перенапряжения выполняется автоматический переход работы устройства ДКП в режим ожидания с коммутацией  $QF_1$ ,  $QF_2$  и  $Q_1$ . Применение ДКП имеет целью обеспечить защиту сетей 6-10 кВ от перенапряжений за счет его динамического погашения, реализуемого в режиме сглаживания и фиксации на уровне 98% (рисунок 4).

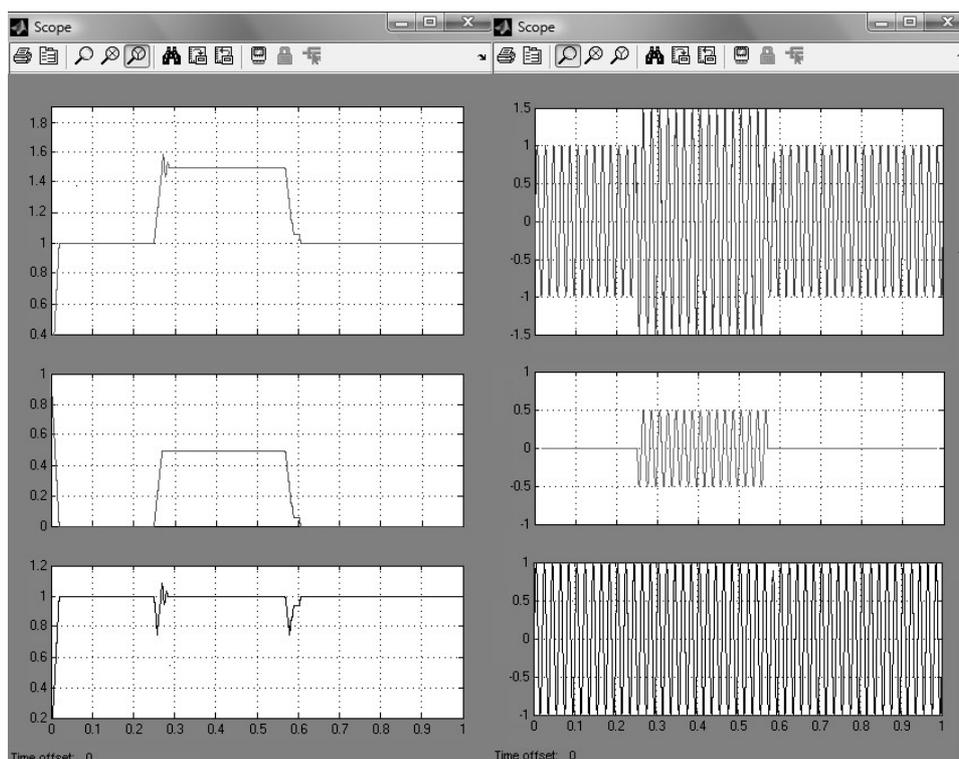


Рисунок 4 – Осциллограммы компенсации перенапряжения ДКП, в секундах

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** перенапряжения, динамическая компенсация, имитационная модель  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Зацепина Виолетта Иосифовна, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»  
 Шилов Илья Геннадиевич, канд. техн. наук, ассистент ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

## ПРОГРАММНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

А.Н. Шпиганович, К.Д. Захаров

**PROGRAMMED INFORMATION - MEASURING COMPLEX FOR ANALYSIS OF POWER-SUPPLY SYSTEM CHARACTERISTIC «Lipetsk state technical university»**  
 A.N. Spiganovich, K.D. Zakharov

Developed programmed Information – measuring complex is presented, which enables to get more accurate models of power-supply system by means of exception of assumption series, used by tradition modeling.

Приводится разработанный программный информационно-измерительный комплекс, который позволяет получить более точные модели систем электроснабжения путём исключения ряда допущений, используемых при традиционном моделировании.

При анализе и моделировании процессов возникающих в системах электроснабжения необходимо сравнение теоретических результатов с результатами, полученными при натурных измерениях. Для измерения параметров электрических систем (напряжений, токов) в настоящее время используют различные устройства (амперметры, вольтметры, осциллографы, регистраторы и т.д.). Однако, для получения полной и достоверной картины процессов, а также точного вычисления косвенных параметров необходимо осуществлять замер напряжений и токов во всех трех фазах и синхронно, что требует создание специального измерительного комплекса. Кроме того, такой комплекс должен учитывать скорость изменения процессов, протекающих в электрической системе и обладать возможностью удобной обработки полученной информации с использованием современных форматов обработки, хранения и отображения полученных данных.

На основании всех выше перечисленных положений был разработан программный информационно-измерительный комплекс (рисунок 1). Он позволяет осуществлять сбор и обработку первичных данных на работающем электрооборудовании; выдачу результатов об-

работки этой информации в удобной форме; передачу этой информации в архив; обращение в справочно-информационный массив; принятие решений о дальнейших измерительных операциях, вычисление и обработку косвенных параметров. Комплекс включает перечни контролируемых узлов различных типов электроустановок, учтена метрологическая обеспеченность, необходимый уровень автоматизации и совместимость средств измерений с ПЭВМ, удобство и наглядность выходной информации. Программную основу составляет информационная система, под управлением операционной системы Windows, выполняющая функции преобразования и обработки данных, поступающих от средств измерения и вывод результатов в виде удобным для восприятия. Блок-схема измерения и вычисления параметров представлена на рисунке 2.



Рисунок 1 – Структурная схема программно-информационного измерительного комплекса

Работу комплекса можно условно разбить на три блока: подготовительная часть; главная часть; аналитическая часть.

Подготовительная часть:

- определение объекта измерения;
- анализ информации по контролируемому объекту;
- «расчленение» сложных электротехнических объектов на простые контролируемые узлы;

– подготовка индивидуального регламента проведения измерений для каждого узла или участка по следующим критериям: измеримость, информативность, инвариантность (настройка комплекса).

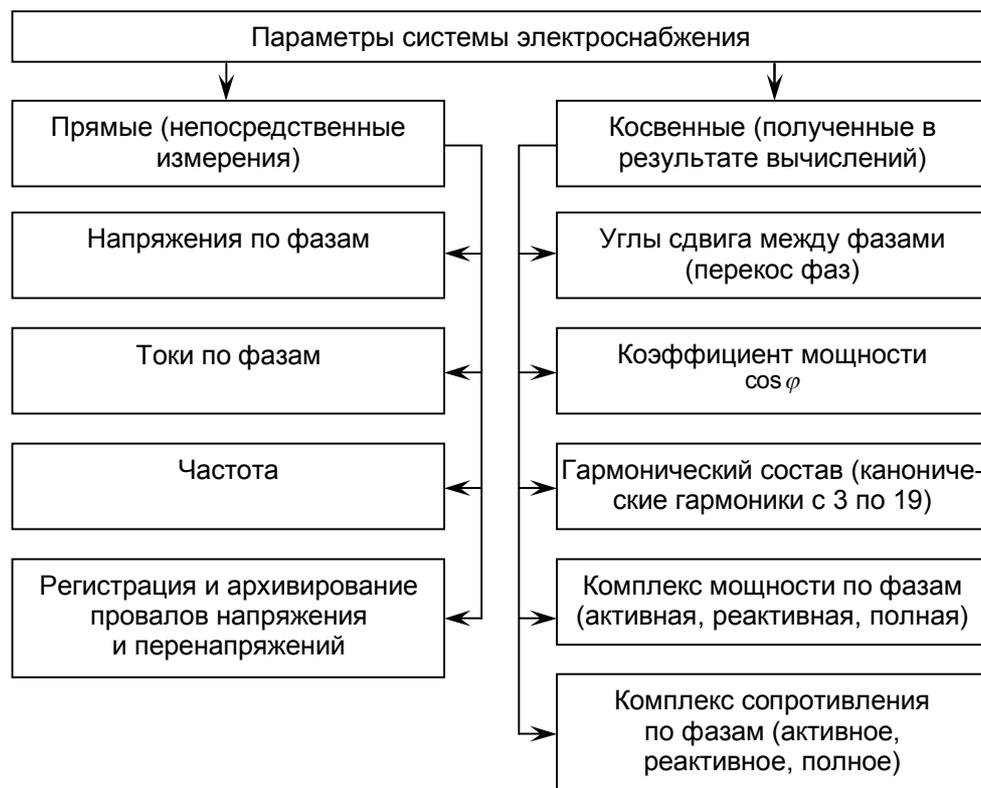


Рисунок 2 – Блок-схема измерения и вычисления параметров системы электроснабжения

Главная часть:

- выбор измеряемых параметров, согласно принятого регламента;
- организация и проведение измерений;
- получение и передача информации для дальнейшей обработки;
- формирование предварительных результатов проведенной работы.

Аналитическая часть:

- обработка результатов по разработанному алгоритму;
- решение задач изменения параметров системы (выдача рекомендаций) и прогнозных задач поведения системы.

Комплекс должен обеспечивать:

- выбор номеров и количества измерительных каналов;
- калибровку измерительных каналов;
- формирование контролируемых уровней перенапряжений фаз;
- формирование (задание) длительности регистрации;
- регистрацию и запись на хранение токов и напряжений трехфазных силовых цепей;
- определение на основе Быстрого Преобразования Фурье (БПФ) коэффициента мощности, электрической мощности по фазам на канонических гармониках, включая 19-ую [1];
- выбор измеряемых параметров и их изображение на дисплее в процессе регистрации данных;
- графическое представление результатов измерений в темпе эксперимента с привязкой к текущему времени;
- следующие виды запуска измерений: свободный, программный запуск; запуск по условию, если напряжение хотя бы одной из фаз находится вне заданного региона. Границы региона определяются Пользователем; запуск измерений по внешнему ТТЛ уровню;
- «послесезансную» обработку данных, записанных в файл: просмотр данных; обработка и представление данных в виде таблиц, графиков, векторных диаграмм по желанию Пользователя; фиксацию количества перенапряжений по фазам за время записи файла; фиксацию количества провалов по фазам за время записи файла; фиксацию количества выходов

напряжения за допуски (перенапряжения и провалы) по фазам; спектральное представление выбранного участка записи тока и напряжения фазы – гармонический анализ; запись информации, изображенной на дисплее на диск в формате, обеспечивающем вторичную обработку и изображение средствами «Microsoft Excel»; передачу графической информации дисплея через системный буфер обмена другим приложениям.

Исходя из выше перечисленных требований комплекс обладает следующими техническими характеристиками [1]:

- количество синхронных измерительных каналов ..... 8;
- напряжение входов измерительных каналов .....  $\pm 5$  В;
- разрядность АЦП ..... 12;
- гальваническая развязка ..... 1500 В;
- фиксированная частота квантования на канал ..... 250 кГц;
- стартовый модуль обеспечивает следующие виды запуска измерений: свободный, программный запуск; запуск по условию, если напряжение хотя бы одной из фаз находится вне заданного региона. Границы региона определяются Пользователем; запуск измерений по внешнему ТТЛ уровню.

Конструктивно комплекс изготавливается на базе промышленного персонального компьютера (ПК), восьмиканального аналого-цифрового преобразователя выполненного в виде внешнего устройства и связанного с ПК по интерфейсу USB 2.0 [1]. Подключение к системе первичных измерительных цепей будет обеспечиваться на внешнем блоке АЦП. Питание блока АЦП от стандартной сети переменного тока – 220 В, 50 Гц. В состав программного информационно-измерительного комплекса для анализа параметров систем электроснабжения входят следующие компоненты: персональный компьютер, плата ЛА-ISO4USB + модернизация под задачу (8 синхронных каналов, 12 разрядов; макс. частота квантования 250 кГц; гальваническая развязка 1500 В; максимальное напряжение входа  $\pm 5$  В); программное обеспечение.

Подключение комплекса к исследуемой цепи осуществляется через емкостной делитель напряжения (для измерения напряжений) и через трансформаторы тока [2]. После преобразования в АЦП сигналы по интерфейсу USB 2.0 поступают на персональный компьютер. Использование разработанного комплекса при исследовании систем электроснабжения даёт ряд серьёзных преимуществ по сравнению с применением существующих устройств. Для иллюстрации этого положения рассмотрим возможность использования комплекса при исследовании коммутационных напряжений. В этом случае к достоинствам комплекса можно отнести следующее:

- возможность получения одновременной картины изменения параметров трёхфазной энергосистемы, что позволяет проводить аналитическую обработку данных с учётом взаимовлияния параметров энергосистемы друг на друга;

- одной из причин возникновения перенапряжений в энергосистемах являются коммутационные процессы, происходящие при включениях-отключениях нагрузки электрическими аппаратами. При этом до настоящего времени нет достоверных данных о параметрах поведения межконтактных промежутков в коммутационных аппаратах. К ним можно отнести нелинейное сопротивление промежутка, а именно законы его изменения в зависимости от различных параметров системы. Предлагаемый комплекс позволяет определять (моделировать) законы изменения сопротивления таких промежутков, как от времени, так и от других параметров энергосистемы.

Таким образом, полученные данные могут позволить получить более точные модели систем электроснабжения путём исключения ряда допущений, используемых при моделировании. Например, появляется возможность замены постоянных сопротивлений, которыми, как правило, подменяют элементы электрических систем нелинейными, учитывающими законы их изменения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ЗАО Руднев-Шиляев [Электронный ресурс] / ЗАО «Руднев-Шиляев» -М., [2004]. -Загл. с экрана. -Режим доступа: <http://www.rudshel.ru>.

2 Захаров, К.Д. Разработка информационно-измерительного комплекса для электросталеплавильных производств / К.Д. Захаров, А.П. Скуратов // Сборник научных трудов преподавателей и сотрудников, посвящённый 45-летию Липецкого государственного технического

университета / ЛГТУ. -Липецк, 2001. -Ч.3.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система электроснабжения, программный информационно-измерительный комплекс  
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Шпиганович Александр Николаевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»  
 Захаров Кирилл Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»  
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

## АНАЛИЗ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

В.И. Зацепина, Е.П. Зацепин

### VOLTAGE FAILURES ANALYSIS IN THE POWER-SUPPLY SYSTEMS

«Lipetsk state technical university»

V.I. Zatssepina, E.P. Zatssepina

Transient power failure's research of electrical customers with high workflow automation level.

Исследование кратковременных нарушений электроснабжения потребителей с высоким уровнем автоматизации технологических процессов.

Проблема, связанная с воздействием провалов напряжения на работу потребителей электрической энергии, становится все более актуальной по мере усложнения технологических процессов и увеличению использования средств автоматизации. Проведенные исследования в системе электроснабжения ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (НЛМК) показали, что нормальное функционирование приемников в большей степени нарушается из-за провалов напряжения. Защита используемых систем управления приводами срабатывает даже при провалах напряжения, удовлетворяющих требованиям ГОСТ 13109-97. Все измерения производились с помощью информационно-измерительного комплекса, позволяющего синхронно фиксировать исследуемые параметры более чем по 20 каналам с частотой дискретизации 40 кГц. При анализе провалов напряжений использовались осциллограммы мгновенных значений токов и напряжений. Анализу были подвергнуты все провалы напряжения за три года.

Проведено исследование распределения количества провалов напряжения в системах электроснабжения по времени. В результате построена гистограмма числа провалов напряжений в процентах по месяцам за исследуемый период времени, приведенная на рисунке 1.

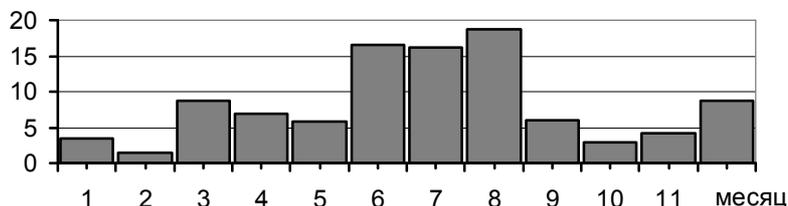


Рисунок 1 – Гистограмма распределения провалов напряжений по месяцам

Анализ рисунка 1 показывает,

что в летние месяцы происходит резкое увеличение (более чем в два раза) количества провалов напряжения. Факторами, влияющими на повышение числа аварий, можно признать проведение в это время модернизации электроустановок и капитальных ремонтов электрооборудования; повышенной грозовой активности, а также увеличение температуры окружающей среды, усугубляющее перегрев и старение изоляции изношенного оборудования. Именно в летние месяцы наблюдаются зоревые перекрытия изоляции линий электропередачи в районах с загрязненной атмосферой.

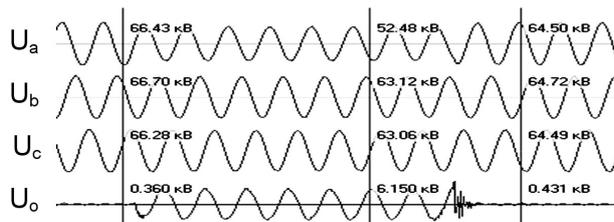


Рисунок 2 – Осциллограмма фазных напряжений, характерная для провалов напряжений первой группы

По внешнему виду осциллограмм и изменениям в параметрах режима работы системы электроснабжения все провалы напряжения были классифицированы и разделены на группы. Дальнейшему анализу подвергались данные для каждой из групп аварийных режимов в отдельности. К группе 1 были отнесены однофазные провалы напряжения. Глубина провала составляет 7-15%-ое отклонение от значения напряжения в нормальном режиме работы. Осциллограмма, характерная для провала напряжения данного вида, приведена на рисунке 2. Провалы данной груп-

пы, как правило, обусловлены изменением уровня напряжения источника питания.

К группе 2 были отнесены двухфазные провалы напряжения, при которых наблюдались значительные просадки напряжения в двух фазах (до 50% от нормального значения), а в третьей фазе провал напряжения незначительный (не превышает 10%) (рисунок 3). Провалы напряжения этой группы обусловлены аварийными процессами, как в энергосистеме, так и в системе электроснабжения потребителя.

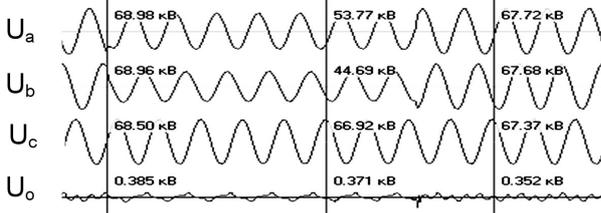


Рисунок 3 – Осциллограмма фазных напряжений, характерных для провалов напряжений второй группы

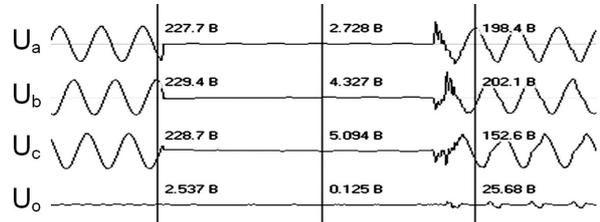


Рисунок 4 – Осциллограмма фаз напряжений для характеристики провалов напряжений третьей группы

К группе 3 были отнесены трёхфазные провалы напряжения. Их продолжительность лежит в пределах от 150 до 400 мс (рисунок 4). К группе 4 были отнесены зарегистрированные провалы напряжения, с глубиной провала до 5%, но со значительным ростом тока в питающих линиях. Анализ данной группы провалов напряжения показал, что причиной таких аварийных процессов является, как правило, дефицит реактивной мощности. Относительное количество провалов в каждой из групп представлено на гистограмме рисунок 5.

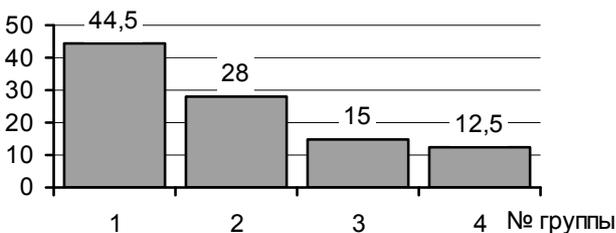


Рисунок 5 – Гистограмма распределения провалов напряжений по группам

Для компенсации этих возмущающих факторов в электрической сети предприятия важно знать амплитудно-временные характеристики и законы их распределения.

Для этого составлены диаграммы амплитудно-временных характеристик всех провалов напряжения за три года. По полученным диаграммам составлены гистограммы распределения амплитуд и длительностей провалов напряжения, приведенные на

рисунке 6, а для сети 0,4 кВ – рисунке 7.

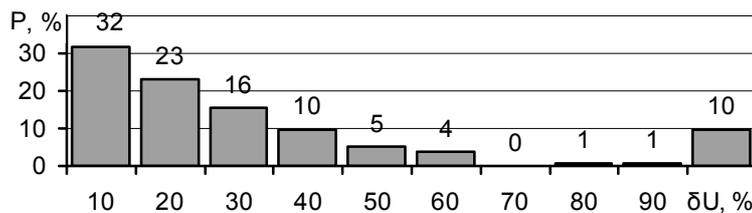


Рисунок 6 – Распределения провалов напряжения по амплитуде в сети 110 кВ

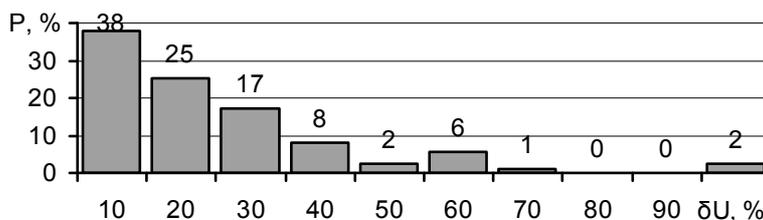


Рисунок 7 – Распределения провалов напряжения по амплитуде в сети 0,4 кВ

Гистограммы распределения характеристик провалов напряжения по длительности для сети 110 кВ приведены на рисунке 8, а для сети 0,4 кВ – рисунке 9.

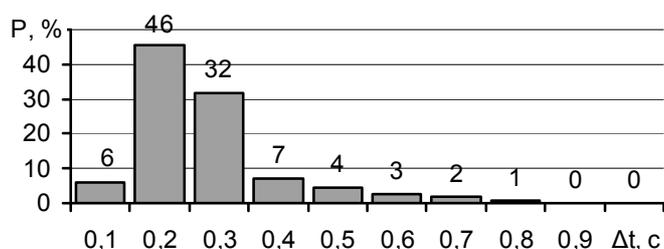


Рисунок 8 – Распределения провалов напряжения по длительности в сети 110 кВ

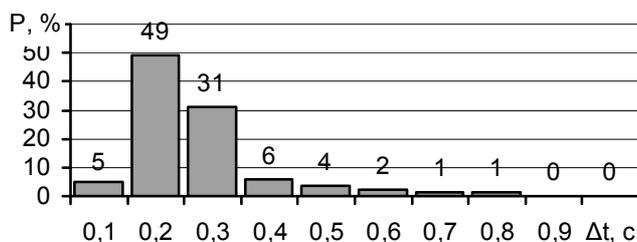


Рисунок 9 – Распределения провалов напряжения по длительности в сети 0,4 кВ

Проведенные исследования показали, что аварийные режимы, как в собственных сетях предприятия, так и сетях энергосистемы с амплитудой провала 10 % приводят к остановке технологического процесса автоматизированного производства. Согласно проведенным расчётам, 45% аварийных процессов в электрических сетях 110 кВ предприятий приходится на однофазные короткие замыкания (ОКЗ), 28% – на двухфазные или двухфазные на землю и 15% – на трехфазные. Рассмотрим характер провалов напряжения у потребителей при однофазных замыканиях (ОКЗ) в сетях 110 кВ в связи с их явным преобладанием. Для чего необходимо обратиться к характерной схеме внешнего электроснабжения потребителя, питающегося на напряжении 110 кВ от районных подстанции 220/110 кВ «Новая» и «Северная». Продолжительность провалов напряжения при близких ОКЗ определяется временем действия 1-й ступени земляной защиты линии 110 кВ и составляет 0,10-0,35 с. По мере удаления места повреждения от шин источника питания остаточное напряжение прямой последовательности увеличивается, а обратной – уменьшается. Также уменьшаются провалы линейных и фазных напряжений, но при этом их длительность увеличивается, так как увеличивается время действия земляной защиты. При многофазных КЗ – трехфазных, двухфазных, двухфазных на землю, которые бывают реже, глубина провалов напряжения оказывается существенно больше, чем при однофазных КЗ, за исключением случаев особо удаленных мест повреждения. При многофазных КЗ остаточное напряжение прямой последовательности, как правило, оказывается ниже  $0,6U_{НОМ}$ , и в соответствии с требованиями ПУЭ такие повреждения должны отключаются без выдержки времени. При этом длительность провала напряжения составляет 0,2-0,45 с. При повреждениях непосредственно на питающих предприятии линиях 110 кВ его потребители испытывают полный перерыв питания. При этом длительность провала напряжения определяется временем действия устройства АВР на источнике питания или устройств АВР на приемной подстанции. Это время обычно находится в пределах 1,0-3,5 с. Как показали проведенные исследования, причинами провалов напряжения являются короткие замыкания, которые, в свою очередь, обуславливаются рядом объективных и субъективных причин: удары молнии, загрязнение изоляции, механические повреждения опор ВЛ, касание проводов посторонними предметами, ошибочные действия оперативного и ремонтного персонала и д.р. Подобные аварии приводят к тяжелым, иногда необратимым нарушениям в процессах металлургического производства. Перекрытие изоляции воздушных линий обусловлено процессами неравномерного распределения напряжения вдоль гирлянд изоляторов воздушных линий при динамических изменениях паразитных емкостей и атмосферных воздействий в тяжелых условиях эксплуатации на металлургических предприятиях. Причинами аварии в кабельных электрических сетях (110, 35, 10 и 6 кВ) являются замыкания в кабельных муфтах и заделках кабеля, а также внутри вертикально ориентированных кабелях с бумажно-масляной изоляцией. В электрических сетях

такого класса также преобладают однофазные замыкания на землю. Степень их опасности остро зависит от состояния нейтрали сети. Наилучшим образом гашение дуги обеспечивается компенсацией емкостных токов замыкания индуктивными составляющими дугогасящих средств. Правильная настройка самозащиты распределительных кабельных сетей 35,10 и 6 кВ от воздействия тока однофазного короткого замыкания может значительно снизить амплитуду провала напряжения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических системах общего пользования. -М.: Изд-во стандартов, 1998.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** провал напряжения, кратковременное нарушение электроснабжения, потребитель электрической энергии, система электроснабжения, качество электрической энергии

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Зацепина Виолетта Иосифовна, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»  
Зацепин Евгений Петрович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

### **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА СРОКА СЛУЖБЫ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

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

**Ю.В. Дёмин, Б.В. Палагушкин, А.И. Мозилов, Г.В. Иванов,  
Е.Ю. Кислицин, С.В. Любаков, Б.С. Кравченко**

**WORKING OUT OF MATHEMATICAL MODEL FOR CALCULATION OF SERVICE LIFE OF ELECTRONETWORK DESIGNS  
«Novosibirsk state academy of water transport»**

Yu.V. Dyomin, B.V. Palagushkin, A.I. Mozilov, G.V. Ivanov, E.Yu. Kislitsin, S.V. Ljubakov, B.S. Kravchenko

The summary a Number of electronetwork designs (artificial ground leads, basic ferro-concrete and metal designs, cables, wires), being in aggressive conditions, have durability characteristics considerably below the standard. The problem of calculation of service life electronetwork designs in the generalized kind is not solved now. This results from the fact that to each type electronetwork designs, depending on set of influencing factors, there corresponds the mathematical description of the destructive processes defining service life electronetwork designs.

Ряд электросетевых конструкций (искусственные заземлители, опорные железобетонные и металлические конструкции, кабели, провода), находясь в агрессивных условиях, имеют характеристики долговечности значительно ниже нормативных. Задача расчета срока службы ЭК в настоящее время в обобщенном виде не решена. Это объясняется тем, что каждому типу ЭК, в зависимости от совокупности воздействующих факторов, соответствует свое математическое описание деструктивных процессов, определяющих срок службы ЭК.

При изменении условий эксплуатации, для расчета срока службы ЭК необходимо получить новую математическую модель. Данный вывод справедлив не только при изменении условий эксплуатации, но и при изменениях в самой конструкции. Особенно чувствительны к таким изменениям методы, основанные на описании деструктивных процессов в виде интегро-дифференциальных уравнений. В них, как правило, тип конструкции и агрессивные факторы определяют вид уравнения. Что касается расчетов долговечности, основанных на регрессионных зависимостях, то они так же неудовлетворительны при указанных изменениях. Это объясняется тем, что множество коэффициентов регрессии вычисляются по ограниченному набору статистических данных, собранных для определенных условий эксплуатации.

В плане ликвидации отмеченных недостатков, для расчета долговечности конструкций целесообразно использовать компьютерный алгоритм распознавания выходных ситуаций с самообучением.

Суть алгоритма распознавания относительно расчета долговечности заключается в следующем. Пусть характеристика, например, железобетонной конструкции (прочность бетона на сжатие –  $R_B$ ) изменяется во времени. Заменяем непрерывное изменение величины  $R_B = f(T)$  дискретным, причем дискретизацию введем как во времени, так и по амплитуде. Очевидно, чем меньше шаг дискретизации, тем точнее выполнена аппроксимация. На рисунке 1. приведено два случая изменения  $R_B$  во времени:

1-й случай – конструкция находится в благоприятных условиях и бетон со временем на-

бирает прочность;

2-й случай – конструкция находится в агрессивных условиях, прочность вначале нарастает, а затем падает.

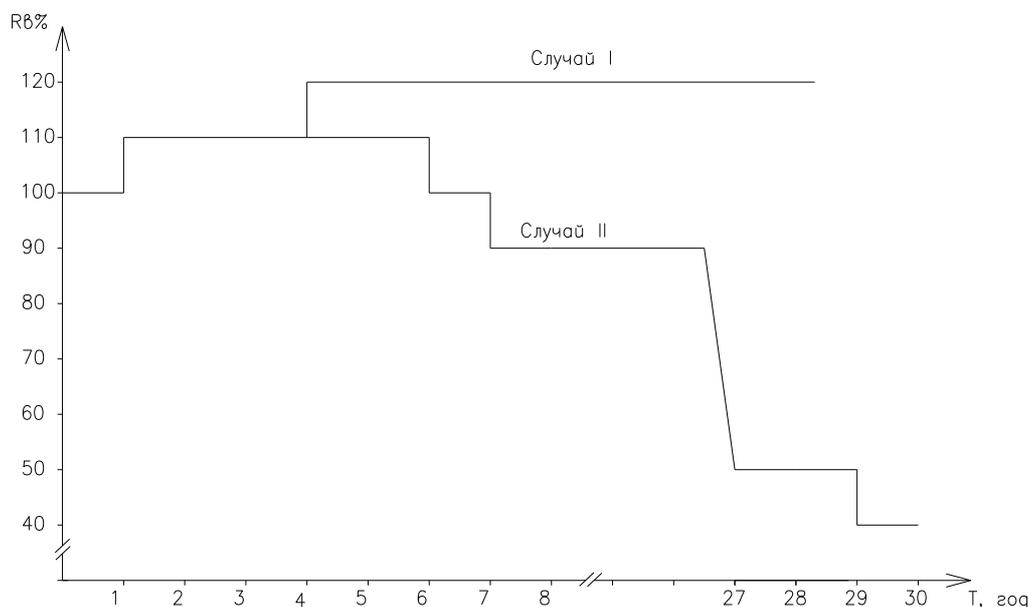


Рисунок 1 – Изменение прочности бетона, представленное с помощью модели

Рассмотрим определение срока службы железобетонных опор ВЛ 6-10 кВ. Для этого необходимо знать: тип опоры (базовая стойка, вид армирования); гололедно-ветровые нагрузки на опору; текущее состояние бетона  $R'_B$  и эффективное сечение арматуры (с учетом ее коррозии  $A'_s$ ).

Две последние характеристики могут быть получены в результате использования математической модели распознавания образов. Для обеспечения достаточной точности модели весь возможный срок эксплуатации – 30 лет, был представлен 30-ю дискретными значениями, а изменение прочности бетона от нормативной (100%) было взято с шагом  $\pm 5\%$ , в зависимости от нарастания или убывания его прочности. Изменение сечения арматуры из-за коррозии взято с шагом 1%. Таким образом, для любого  $T$  (1-30 лет) мы имеем 40 возможных значений  $R_B$  и 100 значений  $A_s$ .

Зная грунтово-климатические параметры  $x_1, x_2, \dots, x_{m-1}$  и задаваясь  $T_i$ , можно составить вектор типа  $x_1^j, x_2^j, x_3^j, \dots, x_{m-2}^j, x_{m-1}^j, T^j$ , который находится в соответствии с  $R'_B$  и  $A'_s$  для конструкции.

Общая задача алгоритма распознавания образов будет состоять в следующем: определить какому классу по  $R_B$  (40 возможных значений) и по  $A_s$  (100 значений) соответствует вектор  $(x_1^j, x_2^j, x_3^j, \dots, x_{m-2}^j, x_{m-1}^j, T^j)$ . При изменении  $T = 1, 30$  можно получить применение по классам  $R_B$   $A_s$  для любой конструкции с условиями эксплуатации  $x_1^j, x_2^j, x_3^j, \dots, x_{m-2}^j, x_{m-1}^j$ .

*Общие условия эксплуатации и исходные данные модели.* Условия эксплуатации – это те основные грунтово-климатические факторы, которые определяют интенсивность коррозионных процессов ЭК. Из физических соображений были выбраны следующие параметры для использования в модели:

- содержание ионов  $Cl^-$ . По своей физической сути этот параметр определяет прежде всего интенсивность коррозии арматуры [1], хотя и оказывает влияние на прочностные свойства бетона;

- содержание ионов  $SO_4^{2-}$  определяет интенсивность коррозии III вида по В.М. Москвину [2] и интенсивность деструктивных процессов вследствие физической коррозии по А.И. Минасу [3];

- общее содержание (сухой остаток) влияет как на коррозию бетона, так и на арматуру;

- глубина залегания уровня грунтовых вод определяет интенсивность поступления минерализованных вод в тело железобетонной конструкции;

– тип грунта (гранулометрический) определяет интенсивность процессов тепломассопереноса в грунте и определён в расчёте через пористость грунта;

– среднегодовая температура. Корреляционно связана с интенсивностью физической коррозии, которая определяется образованием при определенных температурных условиях высокогидратных соединений, оказывающих значительное давление на стенки пор бетона [3];

– частота росообразования. Процесс росообразования, как правило, происходит в нижней части опор (до 1,5 м), что способствует здесь более интенсивному протеканию коррозионных процессов;

– годовое количество жидких осадков. С одной стороны, влага может благоприятно действовать на бетон, но вместе с тем, растворяя соли в грунте, а также соли в порах бетона, способствует коррозионным процессам бетона и арматуры.

*Описание математической модели и алгоритма её программной реализации.* В качестве алгоритма распознавания выходных ситуаций с самообучением в работе использовался алгоритм коррекции по ошибкам с помощью матрицы весов. Под ситуацией понимается элемент  $(y_i, t_i)$  пространства

$$Y \cdot T,$$

где  $Y$  – контролируемый параметр конструкции;

$T$  – срок службы конструкции.

Каждому элементу  $(y_i, t_i)$  соответствует множество векторов  $\{x\}$  (условий эксплуатации). Пусть существует последовательность  $S_x = [x^{(1)}, x^{(i)}, \dots, x^{(t)}]$ , которая в данном случае является обучающей выборкой. Для работы алгоритма она будет преобразована в последовательность  $S_y$ , вместо правила обучения для  $S_x$  будет построено правило для  $S_y$

$$S_y = [y^{(1)}, y^{(i)}, \dots, y^{(t)}], \quad (1)$$

где  $y^{(i)} - (m+1)$ -мерный вектор, полученный добавлением «1» в качестве  $(m+1)$ -й компоненты.

Будем считать, что  $y^{(i)}$  принадлежит к классу « $j$ », если  $x^{(i)}$  – описание из класса « $j$ ». Очевидно, что правило для классификации  $S_y$  будет также классифицировать и  $S_x$ . Предполагается, что каждый член последовательности принадлежит лишь одному из  $k > 2$  классов. Правило классификации можно задать  $[k(m+1)]$  – матрицей, строки которой представляют собой векторы  $W_j$ .

Пусть  $W^{(1)}$  – начальная матрица.  $W^{(1)}$  – нулевая (хотя это необязательно). Определим последовательность  $S_y$ .

Рассмотрим любой вектор  $y^{(t)}$  из  $S_y$  и пусть  $Y_i$  – класс, к которому он принадлежит. Наблюдение  $y^{(t)}$  будет классифицироваться матрицей  $W^{(t)}$ . Матрица  $W^{(t+1)}$  выполняется по следующим правилам: если классификация верна, то

$$W^{(t+1)} = W^{(t)},$$

если классификация ошибочна, то найдется по крайней мере одно число « $j$ », для которого:

$$y^{(t)} W_j^{(t)} \geq y^{(t)} W_i^{(t)}.$$

Для каждого « $i$ » и каждого такого « $j$ » положим:

$$W_i^{(t+1)} = W_i^{(t+1)} + y^{(t)};$$

$$W_j^{(t+1)} = W_j^{(t+1)} - y^{(t)}.$$

В конце концов через конечное число итераций для каждого « $i$ » и любого  $y^{(t)}$  будет верно неравенство

$$y^{(t)} W_i^{(t)} > y^{(t)} W_{jk}^{(t)},$$

а матрица  $W^{(t)}$  будет неизменна и пригодна для классификации ситуаций. Обобщенная блок-схема приведена на рисунке 2.

Пример определения срока службы железобетонных опор ВЛ 10 кВ. Срок службы конструкции определяется тем моментом времени, когда несущая способность опоры становится меньше, чем усилие от внешней нагрузки.

Несущая способность опоры вычисляется по значениям  $R_{iB}$   $A_{iS}$  согласно СНиП 2.03.01-84. Выполним расчет срока службы опоры П10-1 на стойке СВ105-3,5 для грунтовых условий представленных в таблице 1.

Исходные данные для расчета срока службы опоры ВЛ 10 кВ:  $Cl^- = 1\%$ ;  $SO_4^{2-} = 1\%$ ; глубина грунтовых вод 1-3 м; сухой остаток – 4%; Коэффициент пористости – 0,75 о.с.; среднегодовая температура – 15 °С; среднее максимальное суточное количество осадков – 100 мм; частота росообразования – 15%; нижняя граница от внешней нагрузки для III и IV районов по ветру и гололеду принято равной 36 кН·м; вычисление несущей способности происходит до тех пор, пока не определится срок службы в пределах амортизационного срока эксплуатации опоры – 30 лет; шаг расчета принят – 11 кгс/см<sup>2</sup>; срок службы опоры – 10 лет. Остальные данные сведены в таблице 2.

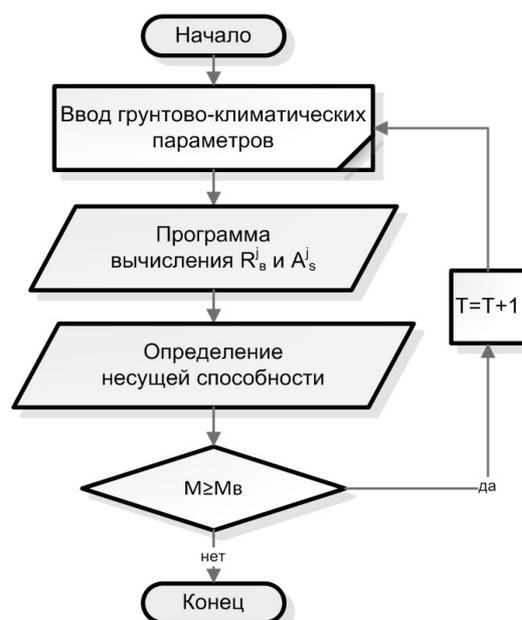


Рисунок 2 – Блок-схема вычисления несущей способности опоры

Таблица 1 – Исходные данные для расчета (грунтовые условия)

Тип грунта	Удельное сопротивление грунта, Ом·м	Влажность, %	Водородный показатель, рН	Концентрация, %	
				Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Суглинок	40-280	7,0-33,0	5,7-8,5	0-0,455	0,0004-0,0300
Супесь	40-115	4,7-27,0	4,4-8,3	0,014-1,290	0,0004-0,1350
Песок	25-90	11,1-22,0	6,1-6,5	6,050-6,500	0-0,002
Глина	60-80	11,0-25,0	6,9-7,4	0,004-0,007	0-0,0770
Гумус перемешанный с глиной	10-200	17,3-53,0	7,3-10,0	0-0,160	0,0008-0,4650
Супесь	27-53	3,8-18,0	6,7-8,4	0-0,290	0,0080-0,8400
Песок пылеватый	19-34	1,4-23,7	6,6-9,0	0,003-0,130	0,6400-0,5950
Суглинок	–	5,7-26,0	6,9-7,9	0,001-1,780	0,0370-1,4400

Таблица 2 – Исходные данные для расчета срока службы опоры ВЛ 10 кВ

Срок эксплуатации, лет	Прочность бетона на сжатие, кгс/см <sup>2</sup>	Эффективный диаметр арматуры, %	Несущая способность, кН·м
0	220	100	39,857
1	231	100	40,069
2	253	99	39,709
3	253	99	39,709
4	253	98	38,976
5	264	97	38,400
6	264	97	38,400
7	264	97	38,400
8	253	97	38,258
9	253	96	37,553
10	242	95	36,685
11	242	92	34,611
12	231	90	33,105

На основе этих данных с помощью программы CLASS по алгоритму (рисунок 2) рассчитывается несущая способность опоры.

Несущая способность опоры для любого момента времени вычисляется на основе зависимости

$$M = R_s A_s (h_0 - 0,5x), \quad (2)$$

где

$$x = R_s A_s / R_b b.$$

Значения  $R_b$  и  $A_s$  выдаются программой CLASS.

Значения  $h_0 = 23,6$  см,  $b = 18$  см взяты на основе геометрических размеров сечения опоры в заделке.

Если данная несущая способность не ниже, чем соответствующие нагрузки, то считается, что конструкция на данный момент работоспособна.

Для обучения модели распознавания ситуаций, то есть выработки способности определять прочность бетона и эффективный диаметр арматуры для каждого необходимого момента времени, были использованы результаты обследования опор 6-20 кВ и их грунтово-климатические условия. Результаты этих обследований приведены ниже. Обучение программы было проведено по данным для 44 объектов. В таблице 3 приведен пример расчета срока службы для опоры 6-10 кВ. Для проверки точности расчета срока службы были использованы данные по обследованию состояния опор 6-20 кВ, не вошедшие в исходные данные обучения алгоритма распознавания (рисунок 3).

Погрешность определения несущей способности, как видно из таблицы 3, не превышает 5%.

Данная методика расчета срока службы железобетонных опор может быть использована для других конструкций (фундаменты, ИЗ, кабели, провода и др.) при внесении изменений исходных данных в обучающую последовательность.

*Таблица 3 – Результаты контрольных расчетов для оценки точности модели для наиболее агрессивных условий (регионы Туркменистана)*

Наименование объекта	Измеренные характеристики			Расчетные характеристики			
	$R_e$	$\Delta D$	$M_n$	$R_e$	$\Delta D$	$M_p$	$\Delta, \%$
Мары РЭС, с/х Куйбышева, фидер 1, опора 70, $Cl^- = 0,102\%$ ; $SO_4^{2-} = 0,266\%$ ; сухой остаток 0,619%; $d = 1-3\%$ ; пористость 0,81; среднегодовая температура 16,4 °С; частота росообразования 15; годовое количество жидких осадков 159 мм; время эксплуатации 17 лет	200	0	39,4	242	1	39,5	0,25
Илотань РЭС, с/х Красное знамя, фидер 4, опора 6, $Cl^- = 0,005\%$ ; $SO_4^{2-} = 0,01\%$ ; сухой остаток 0,085%; $d = 1-3\%$ ; пористость 0,85; среднегодовая температура 15 °С; частота росообразования 15; годовое количество жидких осадков 122 мм; время эксплуатации 10 лет	162	0	38,2	220	1	39,2	2,48
ПС Котур-Деис, фидер 6, $Cl^- = 3,286\%$ ; $SO_4^{2-} = 1,797\%$ ; сухой остаток 8,485%; $d = 0,1-1\%$ ; пористость 0,87; среднегодовая температура 15,1 °С; частота росообразования 15; годовое количество жидких осадков 105 мм; время эксплуатации 9 лет	142	5	34,4	198	7	36,0	4,74

*Исходные данные, используемые при построении модели (для режима обучения).* Для обучения модели распознавания ситуаций, то есть выработки способности определять прочность бетона и эффективный диаметр арматуры для каждого необходимого момента времени, были использованы результаты обследования опор 6-20 кВ и их грунтово-климатические условия эксплуатации. Эти обследования были выполнены СибНИИЭ в течение 1986-1989 гг. В таблице 2 приведены данные, которые использовались в режиме обучения (сухой остаток, содержание хлора, содержание сульфатов, коэффициент пористости грунта, прочность бетона, уменьшение диаметра арматуры из-за коррозии, срок эксплуатации), и остальные данные, необходимые для расчета (глубина залегания уровня грунтовых вод, годовое количество жидких осадков, частота росообразования, среднегодовая температура воздуха).

Нормативной величиной прочности бетона класса В30 была принята 220 кгс/см<sup>2</sup>, то есть такова прочность бетона в момент  $T = 0$ , а шаг изменения прочности – 11 кгс/см<sup>2</sup> (5%). Для арматуры было принято следующее:

– в момент  $T = 0$  диаметр арматуры составляет 100% от первоначального, то есть не

подвергнут коррозии;

– дальнейшее изменение диаметра арматуры по причине коррозии происходит дискретно с шагом 1%.

Обучение программы было проведено по данным для 44 объектов, вся работа с программой, написанной на языке Фортран, проводилась на ЭВМ СМ4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Барг, И.Г. Воздушные линии электропередачи. Вопросы эксплуатации и надежности / И.Г. Барг, В.И. Эдельман. -М.: Энергоатомиздат, 1985.

2 Москвин, Б.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / Б.М. Москвин. -М.: Стройиздат, 1980.

3 Минас, А.И. К вопросу о механизме коррозии строительных материалов солями и щелочами: докл. на всесоюз. науч.-техн. совещании по солевой коррозии. -Минск, 1965.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: искусственные заземлители, железобетонные и металлические конструкции, кабели, провода, бетон

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Дёмин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Палагушкин Борис Владимирович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Мозилов Александр Иванович, канд. техн. наук, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Иванов Г.В., аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Кислицин Е.Ю., канд. техн. наук, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Любаков С.В., аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Кравченко Б.С., аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина,33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРО-КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Ю.В. Дёмин, А.И. Мозилов, Р.С. Корсес, О.А. Мандрико

THE CONCEPT OF CREATION OF INTERACTIVE INTELLECTUAL COMPLEXES ON THE BASIS OF NEJRO-RING STRUCTURES «Novosibirsk state academy of water transport»

Yu.V. Dyomin, A.I. Mozilov, R.S. Korsese, O.A. Mandriko

Nejro-ring structures a universal complex of principles and the algorithms, allowing to solve a wide range of technical problems. Creation of automatic and intellectual complexes of management by any technical systems, and also systems of type concern such problems the person-car. Nejro-ring structures is the effective tool for construction of systems in formation, scientific activity and manufacture.

Нейро-кольцевые структуры (НКС) – универсальный комплекс принципов и алгоритмов, позволяющий решать широкий круг технических задач. К таким задачам относятся создание автоматических и интеллектуальных комплексов управления любыми техническими системами, а также системами типа человек-машина. Нейро-кольцевые структуры является эффективным инструментом для построения систем в образовании, научной деятельности и производстве.

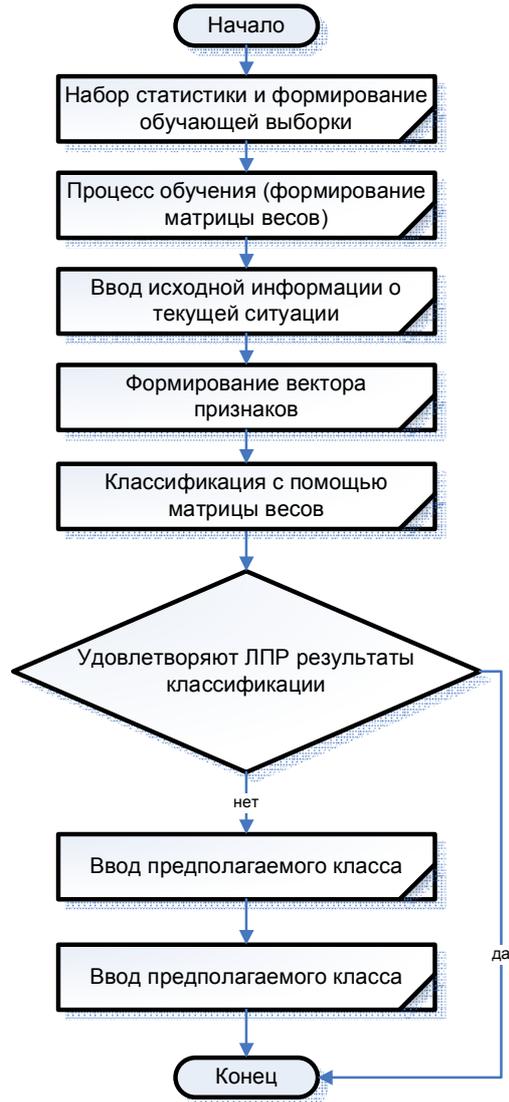


Рисунок 3 – Обобщенный алгоритм распознавания ситуаций

Преимуществами описываемого подхода является эффективность создания и функционирования систем, унификация технических средств, интеграция и возможность объединения программных систем в единый комплекс.

На рынке образовательных услуг нейро-кольцевые структуры могут применяться для создания лабораторных стендов для различных дисциплин и специальностей: автоматика, электропривод, судостроение и т.д.

Лабораторный стендом (рисунок 1) является комплекс аппаратных средств и программного обеспечения. Аппаратные средства – это, как правило, компьютер с подключенным через устройство ввода-вывода изучаемым оборудованием (контроллер, электропривод и т.д.). Программная часть (рисунок 2) включает в себя интерфейс пользователя, алгоритмическую часть, математические модели, коммуникационные функции и средства архивирования и документирования. Алгоритмическое наполнение стенда зависит от области применения: алгоритмы идентификации, регулирования и анализа, интеллектуальные алгоритмы и алгоритмы оценивания действий пользователя.



Рисунок 1 – Лабораторный стенд



Рисунок 2 – Программная часть лабораторного стенда

Кроме использования лабораторных стендов для, собственно, изучения дисциплин (наглядное представление физических основ, постановка цели изучения, исследование закономерностей, обобщение), возможна реализация дополнительных функций. Например, ведение журналов успеваемости по каждому студенту, интерактивное оценивание действий, выполняемых в ходе лабораторных работ и т.д. Также возможно вовлечение инициативных студентов в процесс создания и добавления

функциональности стенда с использованием нейро-кольцевых структур.

Основными характеристиками стендов, построенных на базе нейро-кольцевых структур являются:

- универсальность использования;
- возможность создания многоуровневых обучающих систем, предлагающих тот или иной набор задач и глубины изучения в зависимости от подготовленности студента; интеллектуальность используемых алгоритмов оценивания, управления и др.;
- возможность объединения стендовых комплексов каналами связи (локальная сеть, интернет), что позволяет обмениваться информацией различного характера – от успеваемости студентов до параметров того или иного устройства в реальном времени;
- единая среда (оболочка, набор средств) для решения всего спектра технических и организационных задач учебного заведения.

Другим направлением использования комплексов на базе нейро-кольцевых структур является научно-исследовательская деятельность. Программно-аппаратные комплексы предназначены для решения ряда специальных задач: организация и проведение экспериментов, многофакторный анализ результатов, построение и проверка моделей физических явлений и т.д.

Для решения задач, связанных с внедрением специфического алгоритма управления для объектов теплоэнергетики был создан комплекс «ОНИКС» – универсальная модульная среда, позволяющая решать весь набор задач, возникающих в ходе проектирования и использования систем автоматического управления в едином интегральном пространстве (ри-

сунок 3). «ОНИКС» представляет собой совокупность вычислительного устройства со специализированным программным обеспечением и программно-аппаратного комплекса предприятия, на котором осуществляется внедрение алгоритмов (рисунок 4). Специализированное программное обеспечение состоит из набора алгоритмов, модулей моделирования, архивирования и документирования, коммуникационных функций и модуля, обеспечивающего взаимодействие комплекса и оператора (интерфейс). При решении данной задачи используются алгоритмы идентификации динамических систем, анализа результатов функционирования, алгоритмы регулирования и прогноза, однако, при возникновении необходимости, набор алгоритмов может быть расширен.



Рисунок 3 – Универсальная модульная среда «ОНИКС»

Комплекс «ОНИКС» предоставляет набор средств для организации замкнутого цикла проектирования и может быть использован в следующих сферах:

- автоматизация технологических участков и производств;
- диагностика технических узлов и систем;
- изучение процессов, протекающих в системах;
- аудит технических средств и систем;
- непрерывный контроль параметров и сигналов;
- прогнозирование аварийных и нештатных ситуаций.

Модульность и единая функциональная среда комплекса «ОНИКС» позволяет решать задачи внедрения в технологический процесс требуемых алгоритмов максимально эффективно и в сжатые сроки.

Возможно применение комплексов на основе нейро-кольцевых структур в промышленности и производстве. Программно-аппаратные комплексы для промышленности представляют безопасный, надежный и распределенный инструмент для решения задач автоматического управления и регулирования, диагностирования, контроля и архивирования параметров и событий, обнаружения и прогнозирования критических режимов узлов и систем.



Рисунок 4 – Программно-аппаратный комплекс предприятия

Аппаратной частью промышленного комплекса является набор вычислительных средств (компьютеры, контроллеры, устройства ввода-вывода), обеспечивающий требуемый уровень безопасности и надежности. Программная часть комплекса состоит из интерфейса оператора, коммуникационных модулей, специализированных алгоритмов, функций архивирования и документирования. Конкретная реализация алгоритмов и количество модулей зависит от конкретной задачи производства.

Сфера применения программно-аппаратных комплексов на основе нейро-кольцевых

структур охватывает большинство отраслей промышленности, где применяется автоматизация технологических процессов и системы управления производством различных уровней. Примером таких предприятий могут быть портовые комплексы, судостроительные и судоремонтные предприятия, объекты энергетики и т.д.

Нейро-кольцевые структуры являются гибким инструментом для решения широкого круга технических и организационных задач. Использование такого инструмента для создания лабораторных стендов и других комплексов соответствует необходимости внедрения современных технологий образования. Также использование подобных средств позволяет вывести инфраструктуру научной деятельности на новый уровень. Создание элементов этой инфраструктуры и их объединение позволяет сформировать единое интеллектуальное пространство для решения различных задач образовательного, исследовательского и производственного плана, что вполне соответствует политике повышения эффективности и качества образовательных услуг, внедрения инноваций в науку и промышленность, принятую в Российской Федерации.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *нейро-кольцевые структуры, человек-машина, лабораторные стенды*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Дёмин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»*  
*Мозилов Александр Иванович, канд. техн. наук, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»*  
*Корсес Р.С., аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»*  
*Мандрико О.А., канд. техн. наук, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

## **РЕМОНТ ТЯГОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ЭЛЕКТРОВОЗА КАК СИСТЕМА МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»  
Тайгинский институт железнодорожного транспорта филиал ГОУ  
ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

**Ш.К. Исмаилов, О.В. Гателюк, Е.И. Селиванов, В.В. Бублик**

**REPAIR OF THE TRACTION ELECTRIC CAR OF THE ELECTRIC LOCOMOTIVE AS SYSTEM OF MASS SERVICE**  
«Omsk state transport university»

Tajginsky institute of a railway transportation branch «Omsk state transport university»  
Sh.K. Ismailov, O.V. Gateljuk, E.I. Selivanov, V.V. Bublik

Repair of the traction electric car in its traditional form as single whole from the point of view of the theory of system of mass service is studied and specificity of this system is revealed. The mathematical model of repair of the traction electric car as systems of mass service is constructed. The analysis of a stationary operating mode of system of mass service is made and parameters of its efficiency are received. Practical conclusions are formulated.

Изучен ремонт тяговой электрической машины (ТЭМ) в его традиционной форме как единого целого с точки зрения теории системы массового обслуживания (СМО) и выявлена специфика этой системы. Построена математическая модель ремонта ТЭД как СМО. Сделан анализ стационарного режима работы СМО и получены параметры ее эффективности. Сформулированы практические выводы.

Ремонт тяговой электрической машины (ТЭМ) электровоза – сложная многоступенчатая операция, целью которой является восстановление работоспособности данного узла и улучшение качества его коммутации. Создание математической модели ремонта тяговых электродвигателей и вспомогательных электрических машин – довольно сложная задача, требующая синтеза многих математических моделей. С одной стороны это модели отдельных технологических операций. С другой стороны это модель всего комплекса выполняемых работ, созданная с учетом предыдущих моделей. Математическому моделированию технологического обслуживания отдельных звеньев с точки зрения вероятностного анализа и теории массового обслуживания посвящены работы [1, 2]. Ремонт же ТЭМ как единого целого с точки зрения теории систем массового обслуживания (СМО) и выявления его специфики, ранее не рассматривался. Целью данной статьи является изучение ремонта тяговых электродвигателей (ТЭД) электроподвижного состава в его традиционной форме как единого целого с точки зрения СМО и выявления специфики такой системы массового обслуживания.

Для того, чтобы воспользоваться классическими методами теории СМО, сделаем некоторые предположения, которые приблизительно подтверждаются на практике. Будем считать, что поток заявок тяговых электродвигателей на ремонт простейший [4] с параметром

$$\lambda = \tau^{-1},$$

где  $\tau$  – среднее значение интервала времени между последовательными заявками. Также будем считать выходящий из СМО поток простейшим с параметром

$$\mu = t^{-1},$$

где  $t$  – среднее значение интервала времени между последовательным выполнением заявок.

На качественной стороне выводов это предположение не скажется. При традиционной системе ремонта деповское обслуживание ТЭД можно считать одноканальной СМО с неограниченной очередью.

Действительно, в электровозоремонтном депо на станции Московка в данное время на разборке и сборке может находиться не более одного ТЭД, поэтому можно считать, что в цикле обслуживания находится не более одного ТЭД, а потому рассматривать данную СМО как одноканальную. Не обслуженные заявки становятся в очередь. Хотя непосредственно количество мест в очереди ограничено, однако потенциально количество возможных заявок может быть столь велико, что число мест в очереди можно считать неограниченным.

Важной особенностью СМО, связанной с ремонтом ТЭД, является то обстоятельство, что часть выходящего потока ТЭД, не выдерживающего условий по качеству коммутации, снова возвращается в очередь и снова обслуживается СМО. Обозначим долю возвращаемых ТЭД относительно выходящего потока через  $\xi$  и назовем ее коэффициентом возврата. Очевидно, что  $0 < \xi < 1$ . Для депо Московка  $\xi$  находится в интервале 0,15-0,20. Тогда часть выходящего потока, покидающего СМО, будет иметь параметр, равный  $(1 - \xi)\mu$ . Именно эта часть и является полностью отремонтированной. Та же часть выходящего потока, которая возвращается в СМО, будет иметь параметр, равный  $\xi\mu$ . Эта часть выходящего потока будет обслуживаться в СМО снова, поскольку она не выдержала условий по качеству коммутации. Построим математическую модель ремонта ТЭД как СМО.

Пусть  $S_0, S_1, S_2, \dots, S_n, \dots$  – множество состояний СМО, где  $n$  – число заявок (в том числе и повторных) в очереди. В этом случае бесконечный размеченный граф состояний системы [4] будет иметь вид (рисунок).

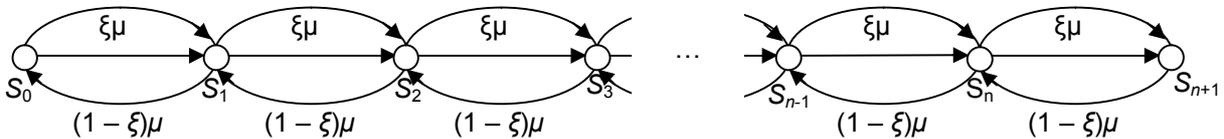


Рисунок – Бесконечный размеченный граф состояний системы

Пусть  $P_0 = P_0(t), P_1 = P_1(t), P_2 = P_2(t), \dots, P_n = P_n(t)$  – вероятности состояний СМО в момент времени  $t$ . Тогда бесконечная система дифференциальных уравнений Колмогорова [4], построенная по размеченному графу состояний системы, будет иметь вид:

$$\begin{cases} P'_0 = -(\lambda + \xi\mu)P_0 + (1 - \xi)\mu P_1 \\ P'_1 = (\lambda + \xi\mu)P_0 - (\lambda + \mu)P_1 + (1 - \xi)\mu P_2 \\ P'_2 = (\lambda + \xi\mu)P_1 - (\lambda + \mu)P_2 + (1 - \xi)\mu P_3 \\ \dots \\ P'_n = (\lambda + \xi\mu)P_{n-1} - (\lambda + \mu)P_n + (1 - \xi)\mu P_{n+1} \\ \dots \end{cases} ; n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

Система дифференциальных уравнений (1) решается с учетом условий нормировки

$$P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_n + \dots = 1. \quad (2)$$

Решение системы (1)-(2) дифференциальных уравнений выглядит достаточно сложно, поэтому не приводится, однако с практической точки зрения следует проанализировать стационарный режим работы СМО. В стационарном режиме

$$P'_0 = P'_1 = P'_2 = \dots = P'_n = \dots = 0, \quad (3)$$

а потому система уравнений Колмогорова для нахождения стационарных состояний примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} (\lambda + \xi\mu)P_0 = (1 - \xi)\mu P_1 \\ (\lambda + \mu)P_1 = (\lambda + \xi\mu)P_0 + (1 - \xi)\mu P_2 \\ (\lambda + \mu)P_2 = (\lambda + \xi\mu)P_1 + (1 - \xi)\mu P_3 \\ \dots \\ (\lambda + \mu)P_n = (\lambda + \xi\mu)P_{n-1} + (1 - \xi)\mu P_{n+1} \\ \dots \end{array} \right. \quad (4)$$

Решив полученную систему алгебраических уравнений (4), выразим все  $P_n$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$  через  $P_0$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} P_1 = \frac{\lambda + \xi\mu}{(1 - \xi)\mu} P_0 \\ P_2 = \frac{(\lambda + \xi\mu)^2}{(1 - \xi)^2 \mu^2} P_0 ; \\ \dots \\ P_n = \frac{(\lambda + \xi\mu)^n}{(1 - \xi)^n \mu^n} P_0 \end{array} \right. \quad (5)$$

Найдем  $P_0$ . Воспользуемся условием нормировки (2) и подставим в него найденные выражения для  $P_n$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$  через  $P_0$

$$P_0 = \left( 1 + \frac{\lambda + \xi\mu}{(1 - \xi)\mu} + \frac{(\lambda + \xi\mu)^2}{(1 - \xi)^2 \mu^2} + \dots + \frac{(\lambda + \xi\mu)^n}{(1 - \xi)^n \mu^n} + \dots \right) = 1. \quad (6)$$

В левой части равенства (6) в скобках находится геометрическая прогрессия, которая сходится, если выполняется неравенство

$$q = \frac{\lambda + \xi\mu}{(1 - \xi)\mu} < 1. \quad (7)$$

Обозначим через  $\rho = \lambda/\mu$  коэффициент использования системы массового обслуживания. В этих обозначениях неравенство (7) запишется так

$$\xi < \frac{1}{2} - \rho. \quad (8)$$

При выполнении условия (8) ряд из равенства (6) сходится, и его сумма будет равна

$$P_0 \left( 1 - \frac{\lambda + \xi\mu}{(1 - \xi)\mu} \right)^{-1} = 1. \quad (9)$$

Откуда получаем выражение для вероятности  $P_0$

$$P_0 = \frac{\mu - \lambda - 2\xi\mu}{(1 - \xi)\mu}. \quad (10)$$

Из равенств (5) получаем вероятности состояний СМО в стационарном режиме:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_1 = \frac{(\mu - \lambda - 2\xi\mu)(\lambda + \xi\mu)}{(1 - \xi)^2 \mu^2} \\ \dots \\ P_n = \frac{(\mu - \lambda - 2\xi\mu)(\lambda + \xi\mu)^n}{(1 - \xi)^{n+1} \mu^{n+1}} \end{array} \right. \quad (11)$$

Получим также некоторые параметры эффективности СМО, описывающей ремонт ТЭД. Вероятность простоя СМО

$$P_{\text{пр}} = P_0 = \frac{\mu - \lambda - 2\xi\mu}{(1 - \xi)\mu}. \quad (12)$$

Пусть СМО работает в стационарном режиме. Найдем среднее число заявок в очереди  $\bar{L}_{\text{оч}}$  как математическое ожидание дискретной случайной величины – числа заявок в очереди (таблица).

Таблица – Результаты расчета

$\bar{L}_{оч}$	1	1	2	...	n	...
$P$	$P_0$	$qP_0$	$q^2P_0$	...	$q^n P_0$	...,

где 
$$q = \frac{\lambda + \xi\mu}{(1-\xi)\mu} \quad (13)$$

В этих обозначениях выражение для длины очереди запишется так

$$\bar{L}_{оч} = \sum_{n=0}^{\infty} nq^n P_0 \quad (14)$$

Выведем формулу для этой величины. В выражении (14) вынесем за скобку  $qP_0$  и получим

$$\bar{L}_{оч} = qP_0 \sum_{n=1}^{\infty} nq^{n-1} \quad (15)$$

Заметим, что выражение  $nq^{n-1}$  есть не что иное, как производная функции  $q^n$

$$\bar{L}_{оч} = qP_0 \sum_{n=1}^{\infty} (q^n)' \quad (16)$$

Поскольку внутри интервала сходимости ряда (14) степенной ряд можно почленно дифференцировать и интегрировать [3], то получаем

$$\bar{L}_{оч} = qP_0 \left( \sum_{n=1}^{\infty} q^n \right)' \quad (17)$$

Заметим, что сумма в правой части равенства (17) есть ни что иное, как бесконечная убывающая геометрическая прогрессия с первым членом и знаменателем

$$\bar{L}_{оч} = qP_0 \left( \frac{q}{1-q} \right)' \quad (18)$$

Найдем ее производную, получим

$$\bar{L}_{оч} = \frac{P_0 q}{(1-q)^2} \quad (19)$$

Подставим в выражение (19) выражения для  $P_0$  (12) и для  $q$  (13), получим окончательное выражение для средней длины очереди

$$\bar{L}_{оч} = \frac{\lambda + \xi\mu}{\mu - \lambda - 2\xi\mu} \quad (20)$$

По формуле Литтла [4] получим среднее число заявок в очереди

$$W_{оч} = \frac{\bar{L}_{оч}}{\lambda} = \frac{\lambda + \xi\mu}{\lambda(\mu - \lambda - 2\xi\mu)} \quad (21)$$

В рассматриваемой СМО отказы невозможны:  $P_{отк} = 0$ , поэтому относительная пропускная способность системы  $Q = 1 - P_{отк} = 1$ . Абсолютная пропускная способность системы совпадает с интенсивностью входящего потока заявок. Вероятность того, что система занята, равна

$$P_{зан} = 1 - P_0 = \frac{\lambda + \xi\mu}{(1-\xi)\mu} \quad (22)$$

Сделаем практические выводы из предложенной математической модели. Неравенство (8) показывает, что СМО, описывающая процесс ремонта ТЭД имеет стационарный режим при соблюдении следующих двух условий:

1) коэффициент использования системы  $\rho$  меньше 1/2;

2) коэффициент возврата меньше, чем разность 1/2 и коэффициента использования системы  $\rho$ .

Изучение параметров работы СМО, описывающей ремонт ТЭД свидетельствует о том, что работа этой системы лежит в пределах стационарного режима. Из предыдущих рассмотрений следует, что множество значений параметров  $\lambda$  и  $\mu$ , для которых существует стационарный режим, гораздо меньше, чем для традиционной одноканальной марковской СМО с неограниченной очередью [4], поэтому исследуемая система ремонта ТЭД работает

менее устойчиво, чем СМО, работающие без возврата.

В силу вышеприведенных рассмотрений необходимо менять порядок работы данной СМО. Здесь возможны два варианта решения проблемы. Первый вариант заключается в том, чтобы создавать определенный запас отремонтированных ТЭД. Второй вариант заключается в том, чтобы изменить традиционную систему ремонта и первоначально разделять поступающие в СМО ТЭД на группы по критерию качества коммутации и в зависимости от этого параметра производить ремонт. Данное предложение позволит уменьшить, а то и исключить возврат ТЭД для повторного ремонта и тем самым повысить устойчивость работы СМО. Данное предложение позволит также уменьшить расход материальных ресурсов и времени на ремонт ТЭД, а также повысить качество ремонта тяговых и вспомогательных электрических машин электроподвижного состава.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Черный, А.Г. Организация технического обслуживания синхронной сборочной линии несколькими наладчиками / А.Г. Черный // Вестн. машиностроения. -2008. -№12. -С. 55-57.

2 Черный, А.Г. Рассеяние и плотность распределения такта несинхронной сборочной линии / А.Г. Черный // Вестн. машиностроения. -2008. -№11. -С. 70-73.

3 Письменный, Д.Т. Конспект лекций по высшей математике: полн. курс / Д.Т. Письменный. -М.: Айрис-пресс, 2007. -608 с.

4 Вентцель, Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. -М.: Высш. шк., 2007. -208 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *тяговая электрическая машина, отказ, математическая модель, теория массового обслуживания, коэффициент возврата, очередь, граф состояний*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Исмаилов Шафигула Калимуллович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Омский ГУПС»  
Гателюк Олег Владимирович, канд. физ.-мат. наук, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»  
Селиванов Евгений Иванович, директор Тайгинского ИЖТ филиала ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *Бублик Владимир Васильевич, преподаватель ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

*644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

*652401, г. Тайга, ул. Молодежная, 13, Тайгинский ИЖТ филиал ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

### **СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЧАСТОТЫ ОТКАЗОВ ОТ КАЧЕСТВА КОММУТАЦИИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»  
Тайгинский институт железнодорожного транспорта филиал ГОУ  
ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

**Ш.К. Исмаилов, Е.И. Селиванов, О.В. Гателюк, В.В. Бублик**

**STATISTICAL RESEARCH OF DEPENDENCE OF FREQUENCY OF REFUSALS OF QUALITY OF SWITCHING OF TRACTION ELECTRIC MOTORS**

«Omsk state transport university»

Tajginsky institute of a railway transportation branch «Omsk state transport university»

Sh.K. Ismailov, E.I. Selivanov, O.V. Gateljuk, V.V. Bublik

Direct correlation connection between quality of adjustment of switching and average run to the full by means of a finding of factors of a rank of correlation of Spirmena and Kendella is established. With confidence more than 97 % the conclusion is drawn on significant correlation communication.

Установлена прямая корреляционная связь между качеством настройки коммутации и средним пробегом до отказа посредством нахождения коэффициентов ранговой корреляции Спирмена и Кенделла. Сделан вывод с уверенностью более 97% о значимой корреляционной связи.

С 1979 года в депо Московка творческими коллективами ОмИИТа (ныне ГОУ ВПО «Ом-ГУПС») проводились наблюдения за работой тяговых двигателей в условиях эксплуатации. Соответствующие данные приведены в таблице. Установить прямую корреляционную связь между качеством настройки коммутации и средним пробегом до отказа по пробоям изоляции на основании часто используемых исследователями параметрических методов математической статистики не удастся, поскольку одна из переменных выражена в порядковой шкале. Шкала, по которой измеряется качество коммутации, является порядковой, поскольку она используется для установления порядка между ТЭД, причем, чем меньше условных единиц получает ТЭД, тем выше качество коммутации. Хотя такого рода объекты нечисловой природы встречаются в технических, и не только технических, науках регулярно, тем не менее,

методы статистики объектов нечисловой природы, несмотря на их несложность, используются нечасто. Это связано с тем, что для таких объектов нельзя использовать традиционные методы параметрической статистики (например, критерии Стьюдента или  $\chi^2$ ) и которые изложены в большинстве справочников по математической статистике. Так для объектов такого рода нельзя пользоваться понятиями среднего арифметического или среднего геометрического, а в качестве средних можно использовать только члены вариационного ряда, в частности, медиану. При исследованиях с использованием такого рода статистических данных, выраженных в порядковых шкалах, и для получения обоснованных выводов относительно их необходимо применять только ранговые статистические методы.

Разумеется, вышеназванные методы можно применять не только для обработки данных, выраженных в порядковых шкалах, но и также и при обработке количественных признаков, особенно, когда нет уверенности в нормальности соответствующего двумерного распределения. В нашем случае, когда одна переменная выражена в порядковой, а другая – в количественной шкале, именно методы теории ранговой корреляции позволяют успешно исследовать и статистически обосновать связь между качеством настройки коммутации и средним пробегом до отказа по пробоям изоляции. Для большей уверенности и обоснованности вывода о наличии вышеупомянутой связи найдем для одних и тех же данных коэффициенты ранговой корреляции Спирмена и Кендалла и установим их уровни значимости.

Разобьем двигателя по качеству коммутации в условных единицах и присвоим им соответствующий ранг. Вторую переменную – средний пробег до отказа также ранжируем, причем, если средний пробег до отказа при данном качестве коммутации больше. То она получает меньший ранг и наоборот. Занесем соответствующие ранги в таблицу.

*Таблица – Исходные данные и их ранги*

Качество коммутации, усл. ед.	Ранг качества коммутации	Средний пробег до отказа, тыс. км.	Ранг среднего пробега до отказа
0-200	1	152	2
200-400	2	169	1
400-600	3	92	6
600-800	4	102	4
800-1000	5	82	8
1000-1200	6	87	7
1200-1400	7	104	3
1400-1600	8	96	5
1600-1800	9	32	9
1800-3000	10	29	10

Для обоснованного суждения о наличии зависимости между качеством коммутации и средним пробегом до отказа вычислим выборочные коэффициенты ранговой корреляции Спирмена и Кендалла.

Выборочный коэффициент ранговой корреляции Спирмена находится по формуле

$$\rho_b = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n^3 - n}, \quad (1)$$

где  $d_i$  – разности рангов второго и четвертого столбцов таблицы,

$$d_i = x_i - y_i;$$

$n$  – объем выборки,  $n = 10$ .

Вычисления, проведенные по формуле (1), показывают, что коэффициент ранговой корреляции Спирмена значительно отличается от нуля:  $\rho_b = 0,72$ . Для большей уверенности в обоснованности корреляционной связи вычислим также коэффициент ранговой корреляции Кендалла.

Данный коэффициент вычисляется следующим образом. Пусть снизу от ранга  $y_1$  имеется  $R_1$  рангов, больших  $y_1$ ; снизу от ранга  $y_2$  имеется  $R_2$  рангов, больших  $y_2$ ; снизу от ранга  $y_{n-1}$  имеется  $R_{n-1}$  рангов, больших  $y_{n-1}$  и пусть  $R = R_1 + R_2 + \dots + R_{n-1}$ . Выборочный коэффициент ранговой корреляции Кендалла находится по формуле

$$\tau_b = \frac{4R}{n(n-1)}, \quad (2)$$

где  $n$  – для данной выборки сумма рангов  $R = 30$ .

Из формулы (2) получаем:  $\tau_e = 0,56$ , что также значительно отличается от нуля.

Хотя найденные выборочные коэффициенты ранговой корреляции отличны от нуля, из этого не следует, что между данными признаками имеется значимая корреляционная связь. Однако для коэффициента ранговой корреляции Спирмена по этим данным с помощью распределения Стьюдента с числом степеней свободы  $k = n - 2$  можно оценить вероятность  $\rho_c$  того, что данная корреляционная связь является значимой, то есть неслучайной. Для этого имея значение  $\rho_e$ , вычислим значение статистики

$$T_c = \rho_e \sqrt{\frac{1 - \rho_e^2}{n - 2}}. \quad (3)$$

В нашем случае  $T_c = 2,94$ . Вероятность отвергнуть правильную нулевую гипотезу о равенстве нулю коэффициента ранговой корреляции (вероятность ошибки первого рода)  $\alpha$  находится по формуле

$$\alpha = P\{|t| > T\} = 2 \int_T^{\infty} f_{n-2}(t) dt, \quad (4)$$

где  $f_n(t)$  – плотность распределения Стьюдента ( $t$ -распределения) с  $n$  степенями свободы,

$$f_n(t) = \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right) \sqrt{\pi n}} \left(1 + \frac{t^2}{n}\right)^{-\frac{n+1}{2}};$$

$$t \in (-\infty; \infty);$$

$\Gamma(x)$  – гамма-функция Эйлера,

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} \cdot t^{x-1} dt.$$

Заметим, что вероятность  $\alpha$  вычисляется по распределению Стьюдента с  $k = n - 2$  степенями свободы. Вероятность  $\rho_c$  того, что корреляционная связь по Спирмену значима, равна  $\rho_c = 1 - \alpha$ . В нашем случае можно найти  $\rho_c = 0,98$  то есть для коэффициента ранговой корреляции Спирмена с уверенностью 98% можно утверждать, что между качеством коммутации и средним пробегом до отказа имеется корреляционная связь.

Можно найти вероятность  $\rho_k$  того, что корреляционная связь по Кендаллу значима. Для этого вычислим аргумент функции Лапласа

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt,$$

по формуле

$$T_k = \tau_e \sqrt{\frac{9n(n-1)}{2(2n+5)}}. \quad (5)$$

В нашем случае  $T_k = 2,24$ . Найдем значение функции Лапласа:  $\Phi(T_k) = 0,487$ . Тогда  $\rho_k = 2\Phi(T_k) = 0,97$ . Итак, для коэффициента корреляции по Кендаллу о наличии корреляционной связи можно утверждать с уверенностью 97%.

Из данных рассмотрений можно с уверенностью более 97% сделать вывод, что между качеством коммутации и средним пробегом до отказа имеется значимая корреляционная связь.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *качество коммутации, ранговая корреляция, средний пробег до отказа, объем выборки, объект нечисловой природы*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Исмаилов Шафигула Калимуллович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Омский ГУПС»  
Селиванов Евгений Иванович, директор Тайгинского ИЖТ филиала ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

*Гателюк Олег Владимирович, канд. физ.-мат. наук, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»  
Бублик Владимир Васильевич, преподаватель ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»  
652401, г. Тайга, ул. Молодежная, 13, Тайгинский ИЖТ филиал ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

## СТАТИСТИКА ДЕФЕКТОВ ПРИВЕДШИХ К ВЫХОДУ ИЗ СТРОЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»  
 ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.З. Манусов, Ю.М. Демидас

### STATISTICS OF DEFECTS OF THE POWER TRANSFORMERS WHICH HAVE LED TO FAILURE

«Novosibirsk state technical university»  
 «Novosibirsk state academy of water transport»  
 V.Z. Manusov, Yu.M. Demidas

The assembled statistical data on Yamal-Nenets autonomous region is analyzed. Therefore, the conclusion has been drawn that the considerable part of transformer park has already developed a nominal resource of service (25 years) and consequently more careful diagnosing of an initial condition of the equipment is required. On the basis of the data most often met defects have been revealed.

Проанализированы собранные статистические данные по Ямало-Ненецкому автономному округу. В результате чего, был сделан вывод, что значительная часть трансформаторного парка уже выработала номинальный ресурс службы (25 лет), и поэтому требуется более тщательное диагностирование исходного состояния оборудования. На основе данных были выявлены наиболее часто встречаемые дефекты.

В настоящее время в России значительная часть силовых трансформаторов 110 кВ и выше отработала нормативный срок службы 25 лет. В эксплуатации находятся устройства, которым 40, 50, и даже 60 лет. По всей видимости, в ближайшие годы произвести замену большинства из них не удастся, поэтому контроль эксплуатационной надежности исчерпавших свой ресурс трансформаторов приобретает особую актуальность.

Результатом реформирования энергетики стало увеличение строительства новых подстанций, модернизирование уже существующих. Это связано с ростом энергопотребления и развитием экономики в целом. В связи с этим появляется много нового дорогостоящего оборудования, за которым так же необходимо осуществлять контроль, что поможет увеличить его срок эксплуатации.

На сегодняшний день очень тяжело получить какую-либо статистику по дефектам трансформаторов. Хотя в целом по России и происходит большое число отключения трансформаторов, но все-таки если проанализировать конкретную организацию, то можно прийти к выводу, что силовые трансформаторы отключаются редко. В результате этого получить какие-либо статистические данные тяжело, такие данные собираются годами.

Были собраны по Ямало-Ненецкому автономному округу статистические данные по обнаруженным дефектам у силовых трансформаторов. Данные показывают, что наиболее частые дефекты это: нагрев верхних слоев трансформаторного масла; нагрев корпуса; нагрев контактного соединения шпильки, кабеля, шин; нагрев шпильки.

Приведем таблицу, в которой показаны некоторые дефекты и причина их появления.

Таблица – Признаки дефектов силовых трансформаторов

Дефект трансформатора	Причина появления
Нагрев контактного соединения шпильки трансформатора	Изменение температуры окружающей среды (зима-лето, ночь-день...) → изменению температуры материала (при нагреве расширяется, при охлаждении сжимается) → ухудшение контактного соединения → окисление контактов
Нагрев шпильки трансформатора	Внутренний дефект (из-за протяжки контактного соединения), но в основном это заводской брак
Нагрев корпуса трансформатора	Ухудшение вентиляции; аварийная работа трансформатора с увеличением нагрузки; неудовлетворительное качество электроэнергии (гармоники, искривление синусоиды)
Нагрев верхних слоев трансформаторного масла	Ухудшение вентиляции; аварийная работа трансформатора с увеличением нагрузки; неудовлетворительное качество электроэнергии (гармоники, искривление синусоиды); забивка радиатора

На основе собранной статистики построим диаграммы по обнаруженным дефектам

трансформаторов.

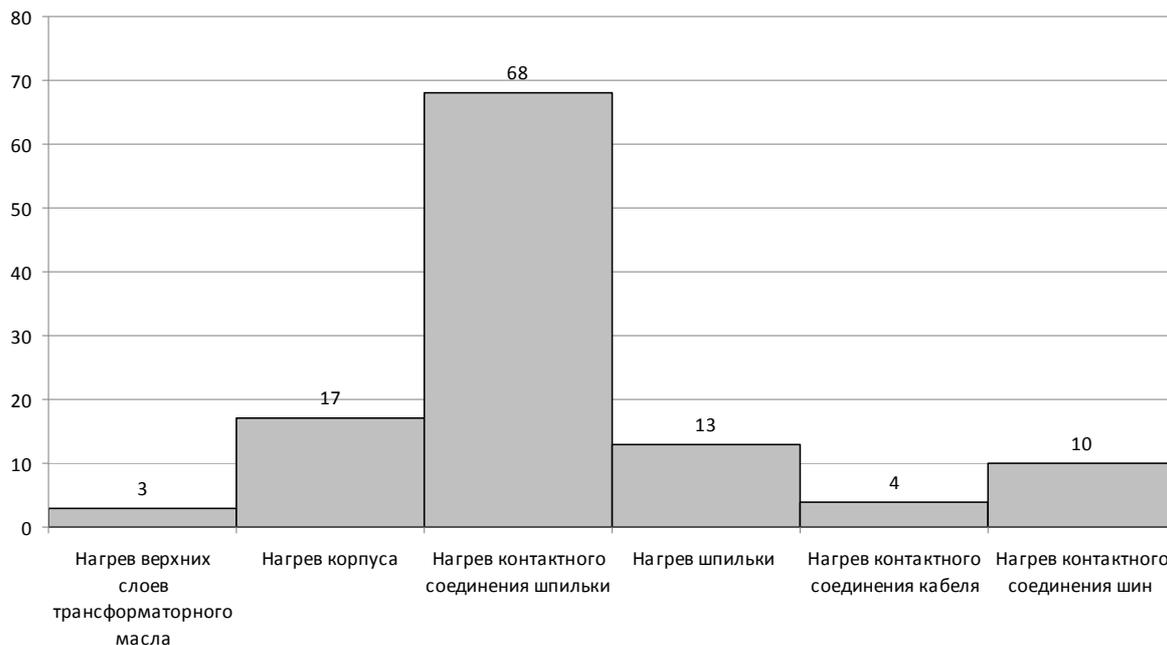


Рисунок 1 – Гистограмма по обнаруженным дефектам за 2006 г.

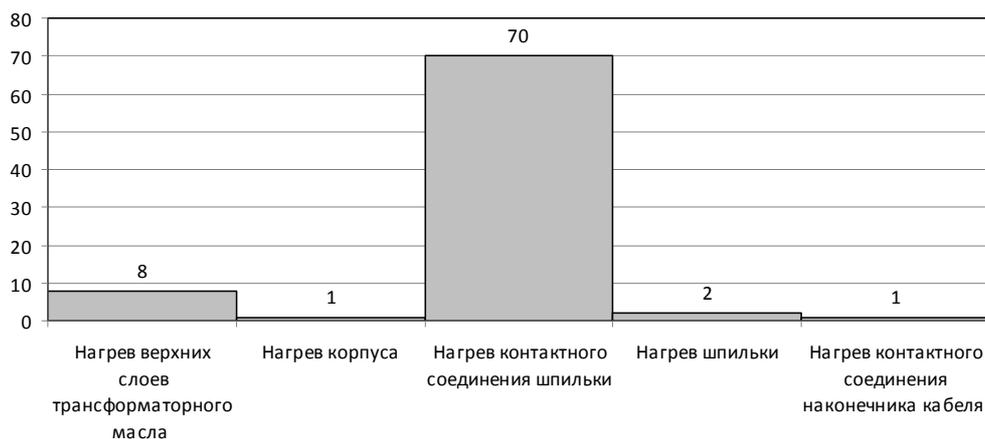


Рисунок 2 – Гистограмма по обнаруженным дефектам за 2007 г. (январь-август)

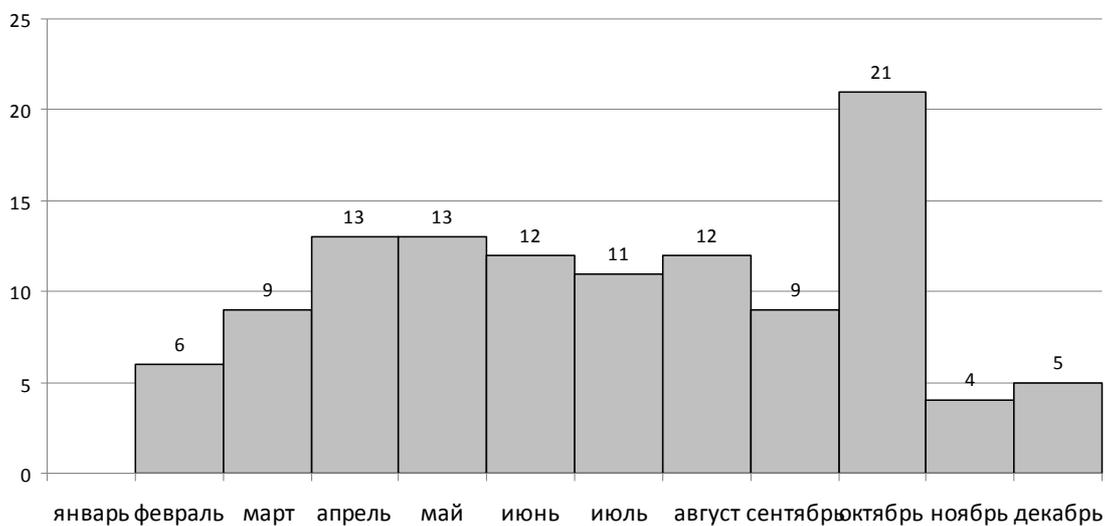


Рисунок 3 – Гистограмма по обнаруженным дефектам за 2006 г. (по месяцам)

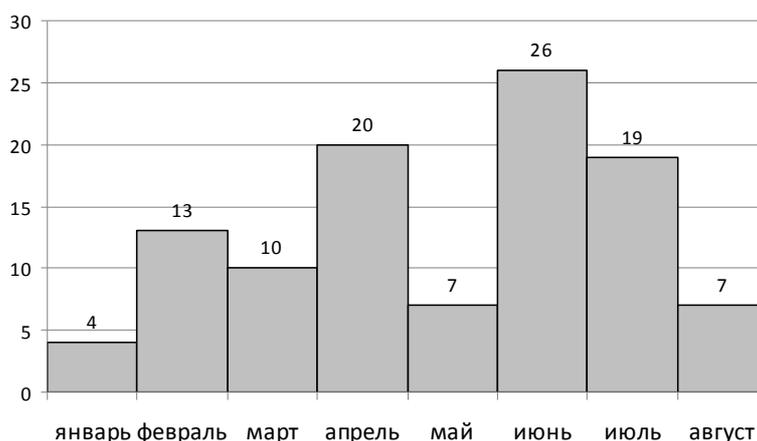


Рисунок 4 – Гистограмма по обнаруженным дефектам за 2007 г. (январь-август, по месяцам)

Полученные статистические данные показывают, что наиболее частые дефекты это: нагрев контактного соединения шпильки трансформатора, сильный нагрев проходных шпилек, нагрев корпуса трансформатора, нагрев верхних слоев трансформаторного масла, нагрев контактного соединения шин трансформатора. Следовательно, при осуществлении диагностики силовых трансформаторов необходимо наиболее тщательно контролировать такие части трансформатора как, вводы, проходные шпильки, систему вентиляции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Голоднов, Ю.М. Контроль за состоянием трансформаторов / Ю.М. Голоднов. -М.: Энергоатомиздат, 1988. -88 с.: ил. -(Библиотека электромонтера; вып.603).

2 Таран, В.П. Диагностирование электрооборудования / В.А. Таран. -Киев: Техника, 1983. -200 с.: ил. -Библиогр.: С.196-198.

3 ГОСТ 52719-2007. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. -М.: Изд-во стандартов, 2007.

4 РД 153-34.3-46.304-00. Положение об экспертной системе контроля и оценки состояния и условий эксплуатации силовых трансформаторов, шунтирующих реакторов, измерительных трансформаторов тока и напряжения. -М., 2000.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** статистика дефектов, силовые трансформаторы

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «НГТУ»

Демидас Юрий Михайлович, соискатель ФГОУ ВПО «НГавт»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ЯКОРЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЛОКОМОТИВА**

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

**В.К. Фоменко**

### **MATHEMATICAL MODELING HEAT-EXCHANGE PROCESSES PROCEEDING IN AN ANCHOR OF THE TRACTION ELECTRIC MOTOR OF THE LOCOMOTIVE**

«Omsk state transport university»

V.K. Fomenko

The mathematical model of heating of the anchor, being the instrument for the impact analysis of a technical condition of an anchor on it heat-engineering indicators is constituted in the article. Functional dependence of temperature difference between surfaces of a collector and collector «cockerel» from a technical condition of an anchor is established and its settlement critical significance is resulted.

Составлена математическая модель нагрева якоря, являющаяся инструментом для анализа влияния технического состояния якоря на его теплотехнические показатели. Установлена функциональная зависимость температурного перепада между поверхностями коллектора и коллекторного «петушка» от технического состояния якоря и приведено его расчетное критическое значение.

Согласно целевой программе «Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года», утвержденной постановлением Правительства Рос-

сийской Федерации, одним из восьми основных направлений научно-технического развития ОАО «Российские железные дороги» является повышение надежности работы и увеличение эксплуатационного ресурса технических средств.

Решение этой проблемы может быть обеспечено комплексными мероприятиями, включающими в себя широкий круг вопросов, связанных с обеспечением устойчивой работы локомотивов и их систем. Эксплуатация локомотивов во многом зависит от надежности работы тяговых электродвигателей (ТЭД), которая определяется качеством выполненного ремонта.

Существенное увеличение эксплуатационного ресурса тягового привода локомотивов может быть достигнуто в результате внедрения в систему технического обслуживания и ремонта локомотивов, механизации и автоматизации технологических процессов ремонта, методов безразборной диагностики, результатов научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ.

Выполненный обзор методов и средств контроля технического состояния тяговых двигателей локомотивов позволяет считать, что существующие технологии и методы не обеспечивают получение высокой достоверности результатов при безразборном способе контроля паяных соединений. Наиболее перспективным в системе диагностирования следует считать тепловизионный контроль, получивший широкое распространение на транспорте, в энергетике, строительстве, медицине и т.д.

Применительно к якорю тягового электродвигателя локомотива осуществление эмпирических методов исследования сопряжено с постановкой сложных опытов, требующих больших затрат труда и времени. В связи с этим наиболее рациональным является путь построения математической модели, являющейся инструментом для анализа влияния состояния якоря на его теплотехнические показатели и выбора информативных параметров контроля.

При разработке математической модели якорь тягового электродвигателя был условно разделен по всей его длине на девять тепловыделяющих элементов, и принято условие, что каждый такой элемент имеет законченную структуру.

Для расчета количества тепла, выделяющегося в каждом элементе, и температуры на поверхности рассматриваемых элементов якоря предложена следующая математическая модель:

– коллектора

$$dQ_H^{(к)} = (\Delta P_{ми} + \Delta P_{щ}) d\tau; \quad (1)$$

$$t_i^{(к)} = t_с + (t_y^{(к)} - t_0^{(к)}) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\tau}{T}\right) \right]; \quad (2)$$

– коллекторных «петушков»

$$dQ_H^{(н)} = (\Delta P_c^{(н)} + \Delta P_n^{(н)}) d\tau; \quad (3)$$

$$t_i^{(н)} = t_с + (t_y^{(н)} - t_0^{(н)}) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\tau}{T_n}\right) \right]; \quad (4)$$

– передней и задней лобовой части

$$dQ_H^{(л\text{ноб})} = \Delta P^{(л\text{ноб})} d\tau; \quad (5)$$

$$t_i^{(л\text{ноб})} = t_с + (t_y^{(л\text{ноб})} - t_0^{(л\text{ноб})}) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\tau}{T_l}\right) \right]; \quad (6)$$

$$t_i^{(л\text{ноб})} = t_с + (t_y^{(л\text{ноб})} - t_0^{(л\text{ноб})}) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\tau}{T_{ll}}\right) \right]; \quad (7)$$

–  $n$ -го элемента пакета железа якоря

$$dQ_H^{(нж)} = (\Delta P_{я}^{(нж)} + \Delta P_{см}^{(нж)}) d\tau; \quad (8)$$

$$t_i^{(нж)} = t_с + (t_y^{(нж)} - t_0^{(нж)}) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\tau}{T_n}\right) \right]. \quad (9)$$

Определение приращения температуры охлаждающего воздуха на рассматриваемых участках якоря (для внешней поверхности якоря и поверхности аксиальных каналов) производилось с помощью уравнений теплового баланса:

$$dQ_H^{(e)} = \alpha F (t_i^{(n)} - t_j^{(e)}); \quad (10)$$

$$dQ_H^{(e)} = c_e G_e (t_i^{(n)} - t_j^{(e)}). \quad (11)$$

Техническое состояние якоря моделировалось различной степенью пропайки

$$\varepsilon_n = \frac{A_{эфф}^j}{A_{эн}^0}, \quad \%, \quad (12)$$

где  $A_{эфф}^j$  – площадь контактного соединения коллекторного петушка с выводом якорной обмотки, при различном техническом состоянии, м<sup>2</sup>;

$A_{эн}^0$  – площадь идеального контактного соединения коллекторного петушка с выводом якорной обмотки, м<sup>2</sup>.

В ходе математического моделирования исследовались зависимости, характеризующие распределение температуры на поверхности якоря по всей его длине, для различных значений  $I_\pi$ ,  $n_\pi$ ,  $\varepsilon_n$ ,  $\tau$ .

Установлено, следующее:

– при токе якоря –  $I_\pi = 600$  А и частоте вращения –  $n_\pi = 12$  с<sup>-1</sup> после 30 мин. нагрева наблюдается стабилизация перепада температуры между поверхностью коллектора и поверхностью коллекторного петушка;

– температурный перепад между поверхностью коллектора и поверхностью коллекторного петушка при различной степени пропайки изменяется по зависимости, которая описывается уравнением

$$\Delta t_i (\varepsilon_n) = \left[ \frac{I_\pi^2 \left[ R_c^{(n)} + \frac{\rho \cdot \Delta l \cdot \varepsilon_n}{A_{эн}^0} \right]}{\alpha_n \cdot F_n} - t_0^{(n)} \right] \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\tau}{T_n}\right) \right] - t_i^{(k)}. \quad (13)$$

Результаты моделирования позволяют ввести параметр для оценки технического состояния якоря ТЭД – температурный перепад между поверхностями коллектора и коллекторного петушка

$$\Delta t_i = t_i^{(n)} - t_i^{(k)}, \quad ^\circ\text{C}, \quad (14)$$

где  $t_i^{(n)}$  – температура на поверхности коллекторного петушка, °С;

$t_i^{(k)}$  – температура на поверхности коллектора, °С.

При этом следует указать, что изменение температуры охлаждающего воздуха не оказывает влияния на величину  $\Delta t_i$ , следовательно, введенный параметр удовлетворяет требованиям устойчивости.

В соответствии с правилами ремонта электрических двигателей техническое состояние паяного соединения считается удовлетворительным при степени пропайки контактного соединения не менее 80%. Для этого контактного соединения расчетным путем установлено критическое значение температурного перепада 15 °С, превышение которого является браковочным для оценки технического состояния якоря.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** диагностика, тепловизионный контроль, температурный перепад, эффективная площадь контактного соединения

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Фоменко Валентин Константинович, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

**Стручков В.И.**

ИТОГИ РАБОТЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГОСМОРРЕЧНАДЗОРА ЗА 2008 г. И НЕРЕШЕННЫЕ ВОПРОСЫ К НАВИГАЦИИ 2009 г.....	3
--	---

**Зачёсов А.В.**

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ НА МАЛЫХ РЕКАХ.....	6
---	---

**Дерябина И.С.**

РЕЙСОВАЯ ФОРМА ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ В ОПЕРАТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ.....	9
---	---

**Норкин И.Ю.**

СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ АСКУЭ РРЭ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ .....	12
---	----

**Бунеев В.М., Киберева И.В.**

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК В АМУРСКОМ БАССЕЙНЕ.....	15
--	----

**Киберева И.В.**

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК СУДАМИ СМЕШАННОГО «РЕКА-МОРЕ» ПЛАВАНИЯ.....	19
--	----

**Верескун В.Д.**

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА.....	23
---	----

**Бунеев В.М., Чернышов И.П.**

ОБОСНОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ВНЕШНЕТОРГОВЫХ ПЕРЕВОЗОК ВОДНЫМ ТРАНСПОРТОМ .....	26
--	----

**Егоров А.В.**

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИЧАЛОВ В СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ, СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД .....	29
--	----

**Беляев И.В.**

ЛИЗИНГ КАК ЭФФЕКТИВНАЯ ФОРМА ОБНОВЛЕНИЯ РЕЧНОГО ФЛОТА. ....	32
---	----

**Нюркин О.С.**

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ И ОБОСНОВАНИЮ ОПТИМАЛЬНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ ДОСТАВКИ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ ГРУЗОВ КРУПНЫМ ГРУЗОПОЛУЧАТЕЛЯМ.....	36
--	----

**Матюгин М.А.**

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ НАЗНАЧЕНИЯ РЕСУРСОВ РЕЧНОГО ПОРТА ПРИ ПОСТАВКЕ НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	39
---	----

**Верескун В.Д.**

СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА .....	43
---	----

**Юрлов И.П.**

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ БОЛЬШИХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ РЕЧНЫХ ПОРТОВ).....	46
--	----

<b>Бунеев В.М., Мартынов А.А.</b> ОБОСНОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОВЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ РЕГИОНА.....	49
<b>Петров В.В.</b> УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМ ПОТОКОМ С УЧЕТОМ ЕГО СВОЙСТВ.....	51
<b>Астахова В.Ю.</b> ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ И ИНТЕРМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК.....	54
<b>Грачева Ю.И.</b> ПОДБОР КАДРОВ КАК МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ.....	58
<b>Резник Л.Г., Смирнова О.Ю.</b> ЛОГИКО-ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ ГРУЗОВЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ К ПЕРЕМЕННОМУ ХАРАКТЕРУ СПРОСА НА ПЕРЕВОЗКИ.....	62
<b>Григорьева Н.Н.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО РЫНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БИЗНЕСА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ.....	65
<b>Кучерова Е.В.</b> РЕГУЛИРОВАНИЕ РЫНКА ТРУДА ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ КАК ФАКТОР БОРЬБЫ С БЕДНОСТЬЮ.....	68
<b>Рубцова Т.В., Муханова Л.З.</b> ОРГАНИЗАЦИЯ ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	71
<b>Самбур А.О.</b> ПРОБЛЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ РАЗВИТИЯ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ ЛИЗИНГА.....	75
<b>Полиновский Л.А.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕМОНТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ЦИКЛА.....	79
<b>Щербаков В.А., Серезин К.А.</b> ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРУКТУРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА.....	82
<b>Северова М.О.</b> ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ КАЛЬКУЛЯЦИИ ДЛЯ РАСЧЕТА СЕБЕСТОИМОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК.....	84
<b>Журавлев В.В.</b> ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОЕ ПАРТНЕРСТВО В УПРАВЛЕНИИ ОРГАНИЗАЦИЕЙ ПАССАЖИРСКИХ АВИАПЕРЕВОЗОК НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ.....	88
<b>Лунина Т.А., Аршба Л.Н.</b> ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ НЕПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫМИ ЗАТРАТАМИ ПО ЦЕНТРАМ ОТВЕТСТВЕННОСТИ.....	92
<b>Шпиганович А.А., Шилова В.А.</b> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА.....	96

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

---

<b>Розин И.В.</b>	
ОРГАНИЗАЦИЯ ОПЛАТЫ ТРУДА РАБОТНИКОВ С УЧЕТОМ ПРЕОБЛАДАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ МОТИВАЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	99
<b>Попантонопуло Е.В.</b>	
АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТА .....	102
<b>Винокуров Г.З.</b>	
ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ МОДЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТА .....	106
<b>Ситников С.Г.</b>	
К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ И АЛГОРИТМИЗАЦИИ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТА.....	109
<b>Ситников С.Г.</b>	
ВОПРОСЫ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ....	111
<b>Ситников С.Г.</b>	
СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТА .....	114
<b>Ситников С.Г., Попантонопуло Е.В., Репина Н.Г.</b>	
СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТА КАК СИСТЕМЫ АНТИКРИЗИСНОГО УПРАВЛЕНИЯ .....	116
<b>Винокуров С.Г.</b>	
ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТА .....	120
<b>Мамонов В.И.</b>	
ВЛИЯНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ФАКТОРА НА ОБЪЕМЫ ВЫПУСКА ПРОДУКЦИИ.....	122
<b>Плетнев Д.П.</b>	
ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ РАСХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРОМЫШЛЕННО-ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА .....	125
<b>Цевелев А.В.</b>	
СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО МАНЕВРИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ .....	128
<b>Леухина Е.П.</b>	
ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ИНТЕРЕСЫ СОВРЕМЕННЫХ ГОСУДАРСТВ В ТРАНСПОРТНОЙ СФЕРЕ .....	133
<hr/> <hr/> <b>ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО</b> <hr/> <hr/>	
<b>Гнат А.А.</b>	
К ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ НА УЧАСТКАХ ПРОТЯЖЕННЫХ ТОННЕЛЕЙ.....	137
<b>Цыганков А.С.</b>	
О ПРИБЛИЖЕННОМ ВЫЧИСЛЕНИИ ИНТЕГРАЛА ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ НЕРАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ В ОТКРЫТОМ РУСЛЕ С ПРЯМЫМ УКЛОНОМ ДНА .....	139
<b>Невидимов Е.С.</b>	
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УСЛУГ ПО УПРАВЛЕНИЮ ЖИЛИЩНЫМ ФОНДОМ .....	141

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

---

### СУДОВОЖДЕНИЕ

---

---

<b>Тарасов Д.В.</b>	
СПОСОБ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ СУДНА НА УСТАНОВИВШЕЙСЯ ЦИРКУЛЯЦИИ .....	146
<b>Тарасов Д.В., Тихонов В.И.</b>	
ВЛИЯНИЕ ПЕРЕКЛАДКИ РУЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОТЫ ОТКРЫТОГО ГРЕБНОГО ВИНТА.....	149
<b>Торн А.С.</b>	
ГИДРАВЛИКА ДВИЖЕНИЯ СУДНА В СУДОХОДНОМ КАНАЛЕ .....	154
<b>Васькин С.В.</b>	
ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В БАСЕЙНОВЫХ СИСТЕМАХ ЛРН СУДОВЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТИ.....	157
<b>Бимбереков П.А.</b>	
ПОСТРОЕНИЕ АППРОКСИМАЦИОННЫХ ВЫРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ РАЗДЕЛА «ОСТОЙЧИВОСТЬ» РОССИЙСКОГО РЕЧНОГО РЕГИСТРА.....	159
<b>Лубковский В.К.</b>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРТОГОНАЛЬНО-ЛИНЕЕЧНОГО ДЛИНО-ВЫСОТО-ВОЛНОМЕРА СИЧКАРЕВА В.И. ДЛЯ ЗАДАЧ ПЛАВАНИЯ СУДОВ НА ВОЛНЕНИИ.....	163
<b>Лубковский В.К.</b>	
СОПОСТАВЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНОВОГО ПОЛЯ ПО ЗАМЕРАМ ОРТОГОНАЛЬНО-ЛИНЕЕЧНЫМ ВОЛНОМЕРОМ И ПО ФОТОСНИМКАМ ЭКРАНА РЛС .....	165
<b>Полунин М.А.</b>	
ОСЕСИММЕТРИЧНАЯ ТУРБУЛЕНТНАЯ СТРУЯ В СПУТНОМ ПОТОКЕ .....	170
<b>М.А. Полунин.....</b>	<b>171</b>
ЗАДАЧА О ТРАЕКТОРИИ СТРУИ СУДОВОГО ДВИЖИТЕЛЯ НА ИЗЛУЧИНЕ РЕКИ .....	171
<b>Кац В.А., Комаровский Ю.А.</b>	
УТОЧНЕНИЕ ГРАНИЦ КОНТУРА ПОГРЕШНОСТЕЙ КООРДИНАТ GPS-ПРИЁМНИКА GP-37.....	175
<b>Непейвода В.Г.</b>	
СОУДАРЕНИЕ СУДОВ ЧЕРЕЗ ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ КРАНЦЫ.....	179

---

---

### ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

---

---

<b>Романов В.А., Кукис В.С.</b>	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КАТАЛИТИЧЕСКОГО НЕЙТРАЛИЗАТОРА ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ В НЕГО ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ВОЗДУХА .....	184
<b>Шарипов Р.Р.</b>	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КАТАЛИТИЧЕСКОГО НЕЙТРАЛИЗАТОРА В ПЕРИОД ПРОГРЕВА ДВИГАТЕЛЯ .....	189
<b>Малозёмов А.А., Алешков О.А.</b>	
ТОПЛИВНАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО	

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

---

ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ .....	191
<b>Леонов В.Е., Миронова Н.А., Николаев А.Г.</b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КАТАЛИЗАТОРА ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ.....	193
<b>Симаков Г.М., Марченко М.А.</b>	
ЛИНЕАРИЗОВАННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОТЛОАГРЕГАТА ПО ТРАКТУ РАЗРЕЖЕНИЯ .....	194
<b>Зуев А.К., Ришко Ю.И., Соловьева Л.О.</b>	
СНИЖЕНИЕ ИНЕРЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СИЛ, ВЫЗЫВАЮЩИХ ВИБРАЦИЮ – АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ, ПУТИ РЕШЕНИЯ .....	200
<b>Романченко М.К.</b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ НИЖНИХ ОЦЕНОК ДЛЯ ЧАСТОТЫ ОСНОВНОГО ТОНА .....	203
<b>Куделин О.Г., Смирнова Е.В.</b>	
АНАЛИТИЧЕСКОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ ОДНОГО КЛАССА ОПРЕДЕЛЕННЫХ ИНТЕГРАЛОВ ОТ СТЕПЕННО-ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ С ПОМОЩЬЮ ДВОЙНЫХ СУММ .....	205
<b>Бурков С.Н., Ефремов А.М.</b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РЕЖИМОВ СТАЦИОНАРНОГО ДВИЖЕНИЯ ДИЗЕЛЯ, УСТАНОВЛЕННОГО НА НЕЛИНЕЙНЫЕ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИЕ ОПОРЫ .....	208
<b>Карагусов И.Х.</b>	
НЕСМАЗЫВАЕМЫЕ МАНЖЕТНЫЕ УПЛОТНЕНИЯ С ЛЕПЕСТКОВЫМ ЭКСПАНДЕРОМ .....	212
<b>Карагусов И.Х.</b>	
МЕХАНИЗМЫ ПРИВОДА ПОРШНЕВЫХ МАШИН .....	214
<b>Степанов В.С., Степанова Т.Б.</b>	
ОБОБЩЕННЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ .....	217
<b>Сидоров М.В.</b>	
ПРОБЛЕМНЫЙ АНАЛИЗ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ НА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ .....	222
<b>Сидоров М.В.</b>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ .....	224
<b>Сидоров М.В., Сидоров В.В., Лыткина Е.М.</b>	
НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ НА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ .....	228
<b>Скуратов А.П., Пьяных А.А.</b>	
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АЛЮМИНИЕВОМ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРЕ.....	230
<b>Скуратов А.П., Пьяных А.А.</b>	
РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ КАПЛИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА В ВОДНОЙ СРЕДЕ .....	233
<b>Таращан Н.Н., Галстян Г.Г.</b>	
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ САМОРЕГЕНЕРИРУЮЩЕГОСЯ ФИЛЬТРА И ОЦЕНКА ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ В СМАЗОЧНОЙ СИСТЕМЕ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ ...	236

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

---

### Гаук Г.А.

- ОПТИМИЗАЦИЯ УГАРА МОТОРНОГО МАСЛА В СУДОВОМ  
СРЕДНЕОБОРОТНОМ ДИЗЕЛЕ ПО КРИТЕРИЮ ИЗНАШИВАНИЯ..... 239

### Векслер Ю.Е.

- СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАПРЯЖЁННОСТИ ЦИЛИНДРОВЫХ  
КРЫШЕК СУДОВЫХ МАЛООБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ..... 243

### Кича Г.П., Перминов Б.Н., Голенищев А.В.

- СТОХАСТИЧЕСКАЯ ЯЧЕИСТАЯ МОДЕЛЬ ОЧИСТКИ  
ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДВС ФИЛЬТРОВАНИЕМ ..... 246

### Можаев Ю.А.

- АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН  
ИСКАЖЕНИЯ РЕЖИМОВ ВИБРАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ  
В ТРАНСПОРТНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ ..... 251

### Шувалов Г.В., Ясырова О.А., Мочалин К.С.

- РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ  
ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА РЕЧНЫХ СУДАХ..... 255

### Веревкин В.Ф., Миханошин В.В.

- ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ  
ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА МАЛОТОННАЖНЫХ СУДАХ..... 259

### Шувалов Г.В., Асосков С.М., Поздняков А.А., Калинин А.В.

- РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ  
ДЛЯ АНАЛИЗА НЕФТЕПРОДУКТОВ НА МОБИЛЬНЫХ  
И СТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТАХ..... 262

### Шувалов Г.В., Духновский Н.А., Калинин А.С.

- ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
СУДОВОГО ТОПЛИВА..... 266

---

---

## ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

---

---

### Савченко Е.А.

- ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ЗДОРОВЬЕ РАБОТНИКОВ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ..... 271

---

---

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

---

---

### Савченко Е.А., Туйгунова А.Г.

- ОПЫТ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ..... 275

### Худоногов А.М., Туйгунова А.Г.

- СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ  
ИЗОЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ ..... 278

### Крюков А.В., Закарюкин В.П., Буюкова Н.В.

- МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ  
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЯХ..... 281

### Крюков А.В., Закарюкин В.П.

- МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ  
В ФАЗНЫХ КООРДИНАТАХ ..... 284

<b>Мозилов А.И.</b>	
ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИЙ И ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ.....	288
<b>Манусов В.З., Соболев Д.С.</b>	
БУДУЩЕЕ ЭНЕРГЕТИКИ – ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ САМОНЕСУЩИХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ .....	293
<b>Манусов В.З., Попович М.Н.</b>	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРЕИМУЩЕСТВ САМОНЕСУЩИХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ С НЕИЗОЛИРОВАННЫМИ ВОЗДУШНЫМИ ЛИНИЯМИ .....	296
<b>Демин Ю.В., Мозилов А.И., Чураков А.А.</b>	
ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ОТТЯЖЕК ОПОР ВЛ 220-500 кВ.....	300
<b>Панкрац Ю.В.</b>	
ЦИФРОВОЙ СЛЕДЯЩЕ-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	304
<b>Привалов С.Я.</b>	
АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН НА ТОКОПРИЕМНИКЕ ЭЛЕКТРОВОЗА В РЕЖИМАХ ТЯГИ И РЕКУПЕРАЦИИ .....	308
<b>Комяков А.А.</b>	
АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАСХОД ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА НЕТЯГОВЫЕ НУЖДЫ СТРУКТУРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА .....	311
<b>Красильникова Т.Г., Манусов В.З.</b>	
АНАЛИЗ ТОКОВ ДУГИ ПОДПИТКИ В ПАУЗУ ОАПВ В ПРОЦЕССЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА.....	313
<b>Зильберман С.М.</b>	
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИВЛЕЧЕНИЯ МАНЕВРЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ ОЭС СИБИРИ В ЕВРОПЕЙСКУЮ СЕКЦИЮ ЕЭС РОССИИ.....	317
<b>Духновский Н.А., Кензап Я.Ю., Крышталёв В.Е., Мочалин К.С., Павленко П.С., Хоменчук А.А.</b>	
ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОНАГРЕВА НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ.....	320
<b>Сидорова Е.А., Железняк С.П., Искрин В.В.</b>	
БАЛАНСИРОВКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОЕЗДОВ .....	324
<b>Вишнягов М.Г., Левченко А.А., Иванова Е.В., Клеутин В.И., Малаенко О.А., Руппель А.А., Дмитриев И.Н.</b>	
ВОЗДЕЙСТВИЕ ТОКОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ 0,4 кВ.....	327
<b>Вишнягов М.Г., Иванова Ю.М., Клеутин В.И., Малаенко О.А., Руппель А.А., Сидоренко А.А., Левченко А.А., Дмитриев И.Н.</b>	
АНАЛИЗ ГАРМОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ БЕРЕГОВЫХ ОБЪЕКТОВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ.....	331
<b>Вишнягов М.Г., Иванова Ю.М., Клеутин В.И., Руппель А.А., Дмитриев И.Н., Левченко А.А., Сальников В.Г.</b>	
ЗАТРАТЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОНДУКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ.....	334

<b>Бялик А.Д.</b> ОСОБЕННОСТИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АМПЛИТУДНЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ РЕФЛЕКТОМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА.....	338
<b>Тонышев В.Ф., Николаев В.А.</b> РЕЛЕЙНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ В СИСТЕМАХ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ МАШИН.....	341
<b>Елшин А.И., Ивликов С.Ю.</b> ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОМАГНИЧИВАНИЯ ЖИДКОСТИ.....	343
<b>Елшин А.И., Ивликов С.Ю.</b> ЭЛЕКТРОТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ ОМАГНИЧИВАТЕЛЯ ЖИДКОСТИ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ.....	347
<b>Палагушкин Б.В., Демин Ю.В., Мозилов А.И.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ И ОЦЕНКА ИХ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ.....	349
<b>Худоногов А.М., Сидоров В.В., Лыткина Е.М.</b> ТЕОРИЯ ТЕПЛОМАССОБМЕНА КАК ОСНОВА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИМИ МЕТОДАМИ ЭНЕРГОПОДВОДА В ПРОЦЕССАХ СУШКИ УВЛАЖНЕННОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА.....	355
<b>Иванов Г.Я., Кузнецов А.Ю.</b> ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ.....	359
<b>Иванов Г.Я., Кузнецов А.Ю.</b> ПОТЕРИ МОЩНОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ЧАСТОТНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ.....	362
<b>Герцен Н.Т., Суханкин Г.В.</b> ДИАГНОСТИКА ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С ПОМОЩЬЮ ЗВУКА.....	364
<b>Герцен Н.Т., Суханкин Г.В.</b> ИЗМЕРЕНИЕ УПРУГИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.....	369
<b>Южанников А.Ю., Кистенев В.К., Южанников М.Ю.</b> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ И ЗОЛОТОЕ СЕЧЕНИЕ.....	373
<b>Зацепина В.И., Шилов И.Г.</b> ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УСТРОЙСТВА ДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ.....	379
<b>Шпиганович А.Н., Захаров К.Д.</b> ПРОГРАММНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....	383
<b>Зацепина В.И., Зацепин Е.П.</b> АНАЛИЗ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....	387

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

---

<b>Дёмин Ю.В., Палагушкин Б.В., Мозилов А.И., Иванов Г.В., Кислицин Е.Ю., Любаков С.В., Кравченко Б.С.</b>	
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА СРОКА СЛУЖБЫ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	390
<b>Дёмин Ю.В., Мозилов А.И., Корсес Р.С., Мандрико О.А.</b>	
КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРО-КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР .....	395
<b>Исмаилов Ш.К., Гателюк О.В., Селиванов Е.И., Бублик В.В.</b>	
РЕМОНТ ТЯГОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ЭЛЕКТРОВОЗА КАК СИСТЕМА МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.....	398
<b>Исмаилов Ш.К., Селиванов Е.И., Гателюк О.В., Бублик В.В.</b>	
СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЧАСТОТЫ ОТКАЗОВ ОТ КАЧЕСТВА КОММУТАЦИИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ.....	402
<b>Манусов В.З., Демидас Ю.М.</b>	
СТАТИСТИКА ДЕФЕКТОВ ПРИВЕДШИХ К ВЫХОДУ ИЗ СТРОЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ .....	405
<b>Фоменко В.К.</b>	
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ЯКОРЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЛОКОМОТИВА.....	407

**Уважаемые коллеги!**

Редакция журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока», приглашает Вас опубликовать результаты Ваших научных исследований в №2 журнала за 2009 год. Заявку на рассмотрение материалов просим высылать ответственному секретарю журнала Коновалову Валерию Владимировичу по электронной почте: [mrk-nsawt@ngs.ru](mailto:mrk-nsawt@ngs.ru). Прием материалов в очередной номер журнала заканчивается 25 октября 2009 г.

**Заявка на публикацию научной статьи в №2 журнала за 2009 год**

Название статьи \_\_\_\_\_

Аннотация (150-200 символов) \_\_\_\_\_

Ключевые слова (не более 10 слов) \_\_\_\_\_

Организация (полное юридическое название, почтовый адрес) \_\_\_\_\_

Автор(ы), (ФИО полностью, ученая степень, ученое звание, должность, контактный телефон) \_\_\_\_\_

Адрес электронной почты (для обратной связи) \_\_\_\_\_

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 на бумажном и электронном носителе формат MS WORD 2003 (объем 3-5 страниц формата А4, шрифт Arial размер 14, одинарный интервал, поля 2 см).
- 2 Заявка на публикацию научной статьи (на русском и английском языках).
- 3 Заверенная рецензия (от компетентного по тематике статьи лица, с полным указанием его 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 15×20 см.
- 5 Ширина таблиц не более 20 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, должна быть ссылка в тексте статьи.

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

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

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ  
Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока

Компьютерная верстка – Коновалов В.В.

Подписано в печать 22.06.09 с оригинал-макета  
Бумага офсетная №1, формат 60x84 1/8, печать трафаретная – Riso  
Усл. печ. л. 48,7 , тираж 1500 экз. Заказ №76  
Цена договорная

Новосибирская государственная академия водного транспорта (НГАВТ), 630099, Ново-  
сибирск, ул. Щетинкина, 33, тел. 22-64-68, факс 22-64-68, e-mail: mrk-nsawt@ngs.ru

Почтовый индекс 62390