

## **ФОРМИРОВАНИЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА В ПРОМЫШЛЕННОМ ЦЕНТРЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

ГОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

**Г.И. Бурдакова**

**BUILDING MULTIMODAL TRANSPORT NODE IN THE INDUSTRIAL CENTER OF FAR EAST**

«Komsomolsk-on-Amur state technical university»

G.I. Burdakova

Shows the role of logistics industrial center of the far East – city of Komsomolsk-on-Amur, Khabarovsk region and far East. Expediency of multimodal transportation hub here.

*Keywords: industrial centre, logistics role, strategy development, multimodal transport node*

Показана логистическая роль промышленного центра Дальнего Востока – г. Комсомольска-на-Амуре в Хабаровском крае и на Дальнем Востоке. Обоснована целесообразность формирования здесь мультимодального транспортного узла.

В постиндустриальной экономике транспорт рассматривается не только как отрасль, перевозящая грузы и людей, а в первую очередь, как межотраслевая система, преобразующая условия жизнедеятельности и хозяйствования. Его устойчивое развитие является гарантом единства экономического пространства, свободы экономической деятельности и конкурентоспособности производства, национальной безопасности и улучшения условий жизни населения.

Хабаровский край занимает ключевые позиции в единой транспортной системе Дальнего Востока. Он располагает всеми видами транспорта: автомобильным, железнодорожным, морским, речным, авиационным и трубопроводным. Около 75% грузовой транспортной работы края приходится на железнодорожный транспорт, более 90% пассажирских перевозок – на автомобильный.

Значительная часть территории Хабаровского края имеет непосредственный выход к морю. Здесь действуют три крупных морских порта (Ванино, Советская Гавань и Де-Кастри) и портовые пункты, обслуживающие как транспортные, так и рыбопромысловые суда. На базе портов Ванино и Советская Гавань в настоящее время формируется Ванино-Советско-Гаванский транспортно-промышленный узел, связывающий Россию судоходными линиями со странами АТР. Ему отводится значительная роль в развитии экономики Дальневосточного региона. Со строительством нефтеналивного терминала в пос. Де-Кастри начались крупные поставки нефти за рубеж. Хабаровский край обслуживает транзит сахалинских, а в будущем будет обслуживать транзит и сибирских энергоносителей в южном и восточном направлениях. Между Ванино и Холмском налажена устойчивая паромная переправа. На территории края функционируют 17 аэропортов местного, федерального и международного значения, а также система нефте- и газопроводов.

В настоящее время экономика Хабаровского края активно интегрируется с экономиками дальневосточных субъектов. В условиях растущих транспортных взаимосвязей, особенно по БАМ, повышается логистическая роль Комсомольска-на-Амуре – промышленного центра Дальнего Востока. Он всегда выполнял функции перевалочно-распределительной базы для поступающих в Среднее и Нижнее Приамурье грузов. В городе расположены экспедиторские и транспортные компании, осуществляющие организацию перевозок не только по прилегающей к городу территории, но и за ее пределы, в том числе на экспорт.

В соответствии со Стратегией развития Дальнего Востока дальнейшее развитие Байкало-Амурской магистрали позволит поддержать перспективные грузопотоки с вновь осваиваемых крупных месторождений минерального сырья и предприятий по их переработке, а также угля в центральную Россию и на экспорт в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. В связи с увеличением объемов грузопотоков планируется к 2025 г. пропускную способность БАМ в направлении морских портов Ванино и Советская Гавань довести до 80-100 млн. т. Для этого предусмотрена модернизация участка линии Комсомольск-на-Амуре-Советская Гавань (500 км) с реконструкцией участка Оуэн-Высокогорная, технических устройств станций Комсомольск-Сортировочный, Комсомольск-Грузовой. Повсеместно будет осуществлен

переход на электрическую тягу.

Однако существующие пропускные мощности Байкало-Амурской магистрали и нынешние технические условия не позволяют ей перевозить грузы, которые уже сегодня имеют возможность производить дальневосточные компании. По прогнозам, к 2020 г. объем грузоперевозок по БАМ должен увеличиться в три раза, пассажирооборота – на 18%. К 2025 и 2050 годам дальневосточные порты должны будут принять грузы, идущие на экспорт по БАМ, от 80 до 108 млн. т. Для этого нужна вторая ветка БАМ и новая инфраструктура. Их строительство поддержали правительство России, руководители крупных компаний – ОАО «РЖД», ОАО «СУЭК», ОАО «РУСАЛ».

По предварительным подсчетам, строительство второй ветки БАМ обойдется в 800 млрд. руб., причем под развитием зоны БАМ понимается строительство не только новой железнодорожной ветки и подъездных путей, но и ответвлений к месторождениям, развитие инфраструктуры морских портов. На базе регионов, по которым проходит БАМ, прослеживается создание нового промышленного района, основанного на добыче и переработке минерального сырья и развития энергетики.

Кроме второй ветки БАМ, на Дальнем Востоке планируется построить новые стратегические железнодорожные линии, в том числе Селихин-Сергеевка. Для обеспечения потребностей населения в перевозках и роста транспортной доступности намечено строительство социально значимых линий, в числе которых Селихин-Ныш.

В городе функционирует крупный железнодорожный узел с направлениями на Тынду, Советскую Гавань по БАМ и Волочаевку-2 по соединительной ветке к Транссибу со станциями Комсомольск-Сортировочный, Комсомольск-на-Амуре (пассажирский вокзал), Дзёмги (нефтеперерабатывающий завод) и Комсомольск-2. Регулярное движение пассажирских поездов осуществляется в сторону Хабаровска и Тынды, а также в направлении Владивосток-Советская Гавань. Железнодорожная станция промышленного центра выполняет комплекс операций по приёму и отправке грузовых и пассажирских поездов, обработке местных и пригородных поездов, формированию и расформированию грузовых составов, подаче и уборке вагонов под погрузку-выгрузку.

Через Комсомольск-на-Амуре проходят автомобильные дороги в направлении Хабаровска, Николаевска-на-Амуре, Ванино и Советской Гавани, Амурска. Есть автодорога вдоль трассы БАМ от Комсомольска-на-Амуре через Новый Ургал на Февральск с ответвлениями на Березовую-Полина Осипенко и Новый Ургал-Софийск. Мост, построенный через Амур (длиной 1,5 км и высотой 24 м), дал возможность выхода к Тихоокеанскому побережью. До этого в течение 30 лет действовала паромная переправа и ледовая дорога.

Развитие опорной дорожной сети на Дальнем Востоке и в Байкальском регионе способствует размещению Комсомольска-на-Амуре на основных линиях создаваемых транспортных коридоров:

– железнодорожного (граница Приморского края-Сукпай-Селихино-Комсомольск-на-Амуре-граница Хабаровского края и далее Тынды-Тайшет с ответвлением из Селихино в порты мыса Лазарева, Ванино и Советская Гавань);

– автотранспортного (от границы Приморского края по трассе федеральной дороги «Восток» и далее через Краснознаменку, Таежное, Смидовичи, Камышевку; приамурский коридор выходит на обходную дорогу на Комсомольск-на-Амуре в Амурскую область; коридор будет иметь ответвление из п. Лидога к портам Ванинско-Советско-Гаванского узла).

Для речного города велика роль водного транспорта. Грузовой порт Комсомольска-на-Амуре оснащен шестью причалами, способными перерабатывать 2,5 млн. т грузов в год. Протяженность маршрутов речного транспорта составляет сотни километров вниз и вверх по Амуру. После открытия сезона речной навигации от речного вокзала города Юности ежедневно отходят катера «Метеор» до Хабаровска, а также Николаевска-на-Амуре, речные пароходы «ОМ» – в посёлок Пивань, прогулочные теплоходы. Однако за последние годы число рейсов пассажирских судов значительно уменьшилось.

Авиaperевозки жителей Комсомольска-на-Амуре совершаются через аэропорт «Комсомольск-на-Амуре», который находится в селе Хурба, в двадцати километрах от города, а также эпизодически через аэропорт «КнаАПО».

Будущее развитие Нижнего Приамурья связывается, прежде всего, со строительством железнодорожного перехода на остров Сахалин. Создание железнодорожного сообщения между материковой частью России и Сахалином обеспечит постоянную круглогодичную связь, рост грузообмена и усилит транзитную роль Комсомольска-на-Амуре. Как продолже-

ние этого проекта сооружение железнодорожного перехода между островами Хоккайдо и Сахалин позволит создать своеобразный сухопутный мост между Россией и Японией. В результате, японская железнодорожная сеть будет соединена с российской, а через неё – с железнодорожной сетью Европы и Азиатско-Тихоокеанского региона. При этом островная Япония превратится в континентальную страну. Города Южно-Сахалинск, Комсомольск-на-Амуре и Хабаровск, находясь на трансконтинентальной железнодорожной трассе, станут крупными транзитными узлами с важными логистическими функциями.

Формирование на основе Комсомольска-на-Амуре промышленно-инновационного центра Дальнего Востока потребует восстановления здесь авиационного транспорта. Рост перевозок по БАМ и концентрация грузооборота в Комсомольске-на-Амуре позволит активнее использовать местный авиатранспорт для перемещения грузов в северном направлении. Удачное географическое положение аэропорта может служить для обеспечения технических посадок на дозаправку транзитных маршрутов, следующих из США в страны Азиатско-Тихоокеанского региона и обратно, для чего необходимо придание ему статуса резервного (запасного) Хабаровскому аэропорту.

Однако для обеспечения внутренних перевозок и привлечения транзитных грузов недостаточно только создания современных транспортных магистралей (железнодорожных, автомобильных, речных, воздушных и трубопроводных). Актуальным является достижение рационального соотношения между видами транспорта, взаимосвязанной динамики в их развитии и использовании. Именно на «стыках» взаимодействия между ними складываются наибольшие потери и диспропорции. В силу организационных различий, ведомственной и территориальной разобщенности между видами и субъектами транспортной деятельности, предприятия не всегда могут свободно выбирать наиболее рациональные транспортные схемы.

Для рационализации транспортной структуры необходимо создание сети смешанных перевозок, развитие которых в настоящее время тормозится высокой стоимостью и неудобством перевалок с одного вида транспорта на другой. Основным направлением совершенствования товаропроводящих и товарораспределительных систем является интеграция производственных и транспортных процессов, основанная на принципах транспортной логистики.

Система имеющихся и потенциальных условий и факторов позволяет рассматривать Комсомольск-на-Амуре как региональный мультимодальный транспортно-логистический узел (ММТЛУ). Это означает, что помимо функционирования нескольких видов транспорта, в процесс движения грузов включается весь комплекс операций по перегрузке, складированию, страхованию, сохранности [1].

Формирование ММТЛУ существенно повысит эффективность транспортных перевозок. Появляются возможности:

- оптимального использования транспортных средств и инфраструктуры, что положительно скажется на издержках и конкурентоспособности экономики Комсомольска-на-Амуре;
- обеспечения высокого контроля за прохождением грузов и их сохранности;
- применения новых транспортно-логистических технологий;
- развития конкуренции между отечественными и иностранными перевозчиками;
- работы грузоотправителей с одним оператором, обеспечивающим весь процесс доставки «от двери до двери» различными видами транспорта;
- существенного сокращения сроков доставки грузов;
- привлечения дополнительных как отечественных, так и зарубежных инвестиций для развития транспортной и складской инфраструктуры;
- внедрения новых информационных технологий;
- расширения внешней торговли за счет упрощения таможенных процедур;
- повышения экологичности транспортного комплекса.

Конечно, нельзя рассматривать создание в Комсомольске-на-Амуре ММТЛУ без учета возможностей развития Хабаровска, Владивостока, Южно-Сахалинска. Специализируясь на определенных направлениях и грузопотоках, они должны дополнять друг друга, формируя высокую конкурентоспособность дальневосточной транспортной системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Заусаев, В.К. Управление стратегическим развитием промышленного центра: моно-

графия / В.К. Заусаев, В.П. Михалев, Г.И. Бурдакова, В.В. Литовченко; отв. ред. Е.Н. Галичанин. - Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2010. -373 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *промышленный центр, логистическая роль, стратегия развития, мультимодальный транспортный узел*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Бурдакова Галина Ивановна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «КНАГТУ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ГОУ ВПО «КНАГТУ»*

## **ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ ЗАВОЗА ГРУЗОВ НА УГЛЕВОДОРОДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ**

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

**В.И. Рагулин**

**RATIONALE FOR THE SCHEME OF IMPORTATION OF GOODS FOR HYDROCARBON DEPOSITS ON THE YAMAL PENINSULA**  
**«Novosibirsk state academy of water transport»**  
V.I. Ragulin

Given variant technique study of schemes of importation of goods into new areas.

*Keywords: importation scheme, the method of calculation*

Приводится вариантная методика обоснования схем завоза грузов в новые районы.

На полуострове Ямал открыто 16 месторождений углеводородного сырья. В том числе Бованенковское, Харасавейское, Крузенштерновское, Ново-Портовское, Ростовцевское, Северо-Тамбейское, Арктическое, Нейтлинское, Нурманское, Западно-Сахалинское и многие др.

При этом Ново-Портовское, Ростовцевское, Арктическое, Нейгинское, Нягоньское месторождения, Бованенковское, Харасавейское и Крузенштерновское – газоконденсатные. На шельфе Карского моря и северо-западу от полуострова Ямал открыты Русановское и Ленинградское месторождения газа и газового конденсата с общим запасом 8-10 трлн. м<sup>3</sup>.

Из всех открытых месторождений полуострова Ямал для освоения выполнены два первоочередных – Бованенковское и Харасавейское. Бованенковское месторождение является самым крупным из сухопутных месторождений на полуострове. Для поставки добываемого здесь газа в Западную Европу запланировано строительство 6 ниток магистрального трубопровода для транспортировки газа по трубам, которые будут проходить по дну Карского моря через Байдаракскую губу на протяжении 80 км.

Расчетный объем добычи газа на месторождениях полуострова Ямал составляет 290-300 млрд. м<sup>3</sup>. Разработку газоконденсатных месторождений планируется начать с 2011 года. По оценке геологов это месторождение будет работать в течение 30 лет с ежегодной максимално добычей 11 млрд. м<sup>3</sup> газа и 4 млн. т нефти.

Для освоения этих месторождений и дальнейшей их эксплуатации требуется значительное количество различных грузов, которых на месте нет. Эти грузы необходимо завозить из других районов. Из опыта освоения Западно-Сибирского нефтегазового комплекса, как это следует из средств массовой информации, на 10 млн. т добытой нефти потребовалось завозить в этот регион до 1 млн. т различных грузов. Можно предположить, что соотношение окажется не меньше при освоении Ямальских месторождений.

Из всех возможных вариантов завоза например нефтегрузов из Омска на полуостров Ямал можно выделить основные три:

- 1) до Салехарда перевозка речным транспортом, далее до места назначения железнодорожным;
- 2) до пункта Се-Яха перевозка речным транспортом, далее до места назначения автомобильным;
- 3) прямой вариант доставки с участием только речного транспорта.

При рассмотрении каждого из трех вариантов возникает вопрос об оптимальном способе доставки нефтегрузов в перевалочный пункт Салехард. Безусловно, оптимальным является доставка нефтегрузов в Салехард в составах. Это обуславливается большей грузо-

подъемностью и меньшими эксплуатационными затратами составов, по сравнению с танкерами. Расчет рекомендуется выполнять в следующей последовательности.

1 *Определить затраты у потребителей и отправителей грузов.* Затраты потребителей и отправителей грузов, зависящие от работы транспорта, включают издержки, связанные с хранением товарно-материальных ценностей и омертвлением оборотных средств. Величина этих затрат зависит от конкретных условий производства и потребления товаров, поэтому в каждом случае она может быть установлена только в результате специальных маркетинговых исследований

$$O_{догм} = \frac{G_z}{365} \times t_{догм} \times C_z = \frac{0,5 \times G_z}{365} \times (365 - t_3) \times C_z, \text{ тыс. руб.},$$

где  $G_z$  – расчетная цена груза;

$t_{догм}$  – срок доставки груза, сут.;

$t_3$  – период завоза груза, сут.

Срок доставки груза рассчитывается отдельно для каждой схемы по формуле

$$t_{догм} = t_n + \sum t_{мо.эп.} + t_{ож.лп.} + t_n + t_e + \sum t_{пум.эп.}, \text{ сут.},$$

где  $t_n$  – время на накопление груза в начальном пункте, сут.;

$\sum t_{мо.эп.}$  – время на техническое обслуживание груженых судов, сут.;

$t_{ож.лп.}$  – время ожидания ледовой проводки, сут.;

$t_n, t_e$  – соответственно время на погрузку и выгрузку, сут.;

$\sum t_{пум.эп.}$  – время движения с грузом, сут.

Значение  $t_n$  определяется для порта отправления

$$t_n = \frac{Q_3 \times t_3}{G}, \text{ сут.}$$

2 *Определить себестоимость перевозки по различным схемам доставки.* Себестоимость перевозки на железнодорожном, речном и автомобильном транспорте определяются по следующим зависимостям:

– железнодорожном транспорте

$$S_{ж/д} = \frac{C_{нко}}{L} + C_{аво},$$

где  $C_{нко}$  – расходы на начально-конечные операции;

$C_{аво}$  – расходы по движущей операции или по статистическим данным.

– речным транспортом

$$S = \frac{\Phi(C_x \times t_x + C_{см} \times t_{см} + \sum C \times t_{кпп})}{G}, \text{ руб./т.},$$

где  $\Phi$  – потребность во флоте,

$$\Phi = \frac{G \times t_{кпп}}{Q_3 \times t_{раб}}, \text{ ед.},$$

$t_{раб}$  – период работы флота на завозе грузов,  $t_{раб} = t_3 = 50$  сут.;

– автомобильным транспортом

$$S_a = S_m + S_d,$$

где  $S_m$  – расходы по автомобильному транспорту;

$S_d$  – расходы по дорожному хозяйству,

$$S_m = C \times t_{кр} + d + n \times b;$$

$C$  – затраты, зависящие от расстояния перевозки автомобильным транспортом;

$t_{кр}$  – критическое расстояние перевозок;

$d$  – расходы на начальную и конечные операции;

$b$  – затраты на погрузку (выгрузку) 1 кг груза;

$n$  – количество погрузки и выгрузки,

$$S_d = \left( \frac{\sum \mathcal{E}_{пост}}{P} + a \right) L_z;$$

$\sum \mathcal{E}_{пост}$  – постоянные расходы;

$P$  – количество тонно-километров полезной транспортной работы в год;

$a$  – переменные дорожные затраты на 1 ткм;

$L_z$  – пробег автомобиля с грузом.

3 *Определить полные экономические затраты.* Определение полных экономических затрат осуществляется без учета капитальных вложений. Полные экономические затраты определяются по формуле

$$З = Э + E(O_{\text{достав}} + O_{\text{хр}}), \text{ тыс. руб.},$$

где  $Э$  – эксплуатационные издержки по перевозкам, тыс. руб.;

$O_{\text{достав}}$  – омертвление грузовой массы за время доставки, тыс. руб.;

$O_{\text{хр}}$  – омертвление грузовой массы за время хранения, тыс. руб.;

$E$  – ставка кредитования.

4 *Выбрать из всех рассчитываемых вариантов завоза грузов оптимальный, исходя из зависимости:*

$$З = \min\{\sum_i З_i\}; \quad З = \min\{\sum_i З_i\}; \quad \sum_i З_i = З_{\text{ж/д}} + З_{\text{рч}} + З_{\text{ав}},$$

где  $i$  – признак варианта завоза;

$З_{\text{ж/д}}, З_{\text{рч}}, З_{\text{ав}}$  – затраты по видам транспорта (железнодорожный, речной, автомобильный).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *схемы завоза, методика расчетов*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Рагулин Вячеслав Игоревич, соискатель ФГОУ ВПО «НГавт»*

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

## **МАТЕРИАЛЬНОЕ СТИМУЛИРОВАНИЕ ТРУДА НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВАГОННЫХ ДЕПО**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**А.П. Дементьев**

### **LABOUR MATERIAL INCENTIVES ON THE BASIS OF THE PRODUCTION PROCESS EFFECTIVENESS IN THE MAINTENANCE WAGON DEPOTS**

«Siberian state transport university»

A.P. Dementiev

The issues of the development of the rewarding system activities in the maintenance wagon depots under the introduction of the Regulations on the corporate employees' rewarding system for the branches of Open JSC «Russian Railways» are considered in the paper.

*Keywords: wagon enterprise, labour incentives, rewarding system activities*

Рассмотрены проблемы формирования системы показателей премирования при внедрении Положения о корпоративной системе премирования работников филиалов ОАО «РЖД» в эксплуатационных вагонных депо.

Материальное стимулирование труда работников (премирование) является неотъемлемой частью системы управления трудовыми процессами. Под премированием, в общем смысле, понимается выплата определенному кругу работников за определенный период определенных денежных сумм сверх основного заработка в целях поощрения за достижение определенных результатов, а также в целях стимулирования дальнейшего улучшения этих результатов.

Очевидно, что для объективной оценки результатов труда работников в организации необходимо разработать Положение о премировании, содержащее раздел, посвященный выбору условий и показателей премирования.

Выбор условий и показателей премирования должен предваряться тщательным анализом последствий, к которым может привести их выполнение, невыполнение или перевыполнение в совокупности всеми работниками или отдельными подразделениями. Условия и показатели премирования имеют ту особенность, что выбирать их следует, имея в виду два аспекта: мотивацию трудового поведения работников (то есть учет их потребностей и интересов) и задачи, стоящие перед организацией (учет интересов организации).

С 2010 г. в открытом акционерном обществе «Российские железные дороги» введено в действие Положение о корпоративной системе премирования работников филиалов

ОАО «РЖД». Целями формирования этой системы премирования являются:

– повышение материальной заинтересованности работников филиалов ОАО «РЖД» в эффективном выполнении общекорпоративных задач;

– установление единых принципов в области стимулирования работников, порядок разработки и утверждения в филиалах ОАО «РЖД» положений о премировании работников.

Общекорпоративный подход к формированию системы премирования заключается в организации вовлечения каждого работника в решение корпоративных задач путем создания механизмов материальной заинтересованности и ответственности всех работников компании в результативности ее деятельности, а также в том, что размер премирования каждого работника поставлен в зависимость от общих результатов деятельности филиала (структурного подразделения) и его индивидуальной работы.

Корпоративная система премирования состоит из трех уровней, каждый из которых может включать до трех показателей премирования (рисунок).



*Рисунок – Принципы премирования работников на основе трехуровневого подхода*

Показатели первого уровня премирования учитывают интересы филиалов ОАО «РЖД», а показатели второго уровня – интересы структурных подразделений. Такие показатели как безопасность движения поездов, выполнение планов работы в системе ОАО «РЖД» имеют точные методики расчетов, определяются на любой отчетный период различными формами учета.

С нашей точки зрения наиболее сложными для определения являются показатели третьего уровня. Обоснование параметров индивидуальной трудовой деятельности, личных компетенций и способностей работника и методы учета вклада каждого конкретного исполнителя в коллективные результаты труда всегда вызывают определенные теоретические и практические сложности.

На предприятиях эксплуатационного сектора вагонного хозяйства в настоящее время накоплен практический опыт учета трудового вклада каждой смены и каждого конкретного работника в общий результат работы предприятия с помощью локальных информационно-аналитических систем.

В научно-исследовательской лаборатории «Экономика транспорта» инженерно-экономического факультета Сибирского государственного университета путей сообщения разработана и внедрена на 36 пунктах технического обслуживания и 3 механизированных пунктах подготовки вагонов под погрузку информационно-аналитическая система «Бюджетирование прямых затрат ПТО и МППВ» (ИАС БПЗ).

Использование на Западно-Сибирской железной дороге с 2005 г. ИАС БПЗ позволило:

1 Осуществлять поэлементный, обоснованный и адресный учет всех составляющих трудовых процессов и материальных затрат. В результате каждый вид произведенных работ получает адресность, то есть указание кто и когда его сделал или не сделал.

2 Оценить вклад каждого рабочего, бригады в процесс обслуживания и подготовки вагонов под погрузку. Имеется возможность составить реестр работы каждого работника, осуществленной им за трудовую биографию. Оценить дифференциацию заработной платы и «сдельной» премии на простых и понятных основаниях, установить показатели производственного соревнования бригад и смен.

3 Определить коэффициенты качества труда. При разборе любой ситуации, связанной с техническим состоянием вагона, они позволят оперативно определить виновника допущенного дефекта или брака. Также имеется возможность составить «паспорт технического состояния вагона», в котором за срок его службы накапливается информация о всех выполненных с ним ремонтных операциях с указанием исполнителей.

4 Определить нормы трудовых затрат и численность по профессиям на основании анализа повторяемости работ и загруженности работников основных профессий.

В ИАС БПЗ формируется два коэффициента: коэффициент интенсивности труда смены (КИТ) и коэффициент индивидуального вклада работника (КИВ), которые могут быть положены в основу начисления премии на третьем уровне премирования. [1] Первый коэффициент определяет долю трудового вклада смены в общий результат работы пунктов технического обслуживания и подготовки вагонов под погрузку, а второй учитывает вклад каждого работника в результат работы смены.

*Таблица 1 – Расчет коэффициента интенсивности труда за июль 2010 г.*

Наименование	Смена 1		Смена 2		Смена 3		Смена 4		Итого	
	Кол-во	Время, мин.	Кол-во	Время, мин.						
1 Сменить гайку валика подъемника	2	3,3	8	13,2	2	3,3			12	19,8
2 Сменить болт валика подъемника	8	18	2	4,5			1	2,25	11	24,75
3 Сменить центрир. балочку			2	10,52	8	42,08	5	26,3	15	78,9
4 Сменить крепление цепочки расцепного привода	175	546	175	546	175	546	175	546	700	2184
...										
33 Правка торцевой двери с помощью ВРМ	1275	0	943	0	634	0	2292	0	5144	0
34 Отремонтировать верхний замок торцевой двери с помощью ВРМ	136	1626,6	308	3683,7	708	8467,7	56	669,76	1208	14448
...										
155 Поставить пробку тормозного цилиндра	25	24,25			25	24,25			50	48,5
156 Крепить штурвал стояночного тормоза	1	0			2	0			3	0
157 Завал мертвой точки	74	0	65	0	75	0	205	0	419	0
...										
Итого за месяц		59910		60929		59614		61567		242020
Коэффициент интенсивности		0,9800		0,9900		1,0100		1,0200		

С помощью коэффициента интенсивности труда смены определяется доля премиального вознаграждения всей смены после учета показателей второго уровня премирования (выполнения плана, наличие браков и отказов). Пример расчета коэффициента интенсивности смены приведен в таблице 1, где перечислены все работы, выполненные сменами за месяц, их трудоемкость и определен вклад каждой смены. В таблице 2 цветом выделена строка, показывающая влияние КИТ на суммарную премию смены. Из приведенного примера видно, что сумма премии для смены №3 увеличена от расчетной, полученной по показателям вто-

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

рого уровня системы премирования, так как КИТ этой смены самый высокий.

Сумма премиального вознаграждения внутри смены распределяется в соответствии с КИВ, пример расчета приведен в таблице 3.

Таблица 2 – Расчёт размера суммовой премии работников за июль 2010 г.

Показатели	Смена 1	Смена 2	Смена 3	Смена 4	Итого
План подготовки вагонов под погрузку, ваг	3240	3456	3240	3456	13392
Факт подготовки вагонов под погрузку, ваг	2769	3003	2817	3005	11594
% к плану	85,5%	86,9%	86,9%	87,0%	86,6%
Количество отцепленных вагонов, ваг	45	30	24	27	126
Процент отцепок от общего выпуска	1,63%	1,00%	0,85%	0,90%	1,09%
Браки в работе	0	0	0	0	0
Задержки поездов в пути следования, ваг	0	0	0	0	0
Размер премии за 1 вагон, руб.	40,62	40,62	40,62	40,62	40,62
Количество вагонов для премирования, ваг.	2724	2973	2793	2978	11468
Сумма премии по расчёту, руб.	110656	120771	113459	120974	465859
Коэффициент интенсивности труда смены	0,9800	0,9900	1,0100	1,0200	4,00
Сумма премии с учётом коэффициента интенсивности труда	108443	119564	114593	123393	465992
Сумма премии по п.2.8 «Положения о премировании»	0	0	0	0	0
Доля премии на 1 руб. для нач. премии	0,33	0,32	0,38	0,34	0,34
Сумма удержаний, руб.	22435	21176	3163	4171	50945
Сумма премии к выплате, руб.	86008	98387	111430	119222	415047

Таблица 3 – Список на выплату премии смены №1 по результатам работы за июль 2010 г.

Фамилия И.О.	Профессия	Тариф	Надбавка за вредность	Коэффициент индивидуального вклада	Сумма для начисления премии, руб.	Расчетная премия, руб.
Брагин Анатолий Александрович	Электрогазосварщик	9648,73	771,90	1,2314	11881,45	3913,28
Власов Андрей Валерьевич	Слесарь подвижного состава	10824,03	865,92	1,1985	12972,60	4272,67
Власенко Максим Викторович	Слесарь подвижного состава	9962,00	796,96	1,1278	11235,14	3700,42
Ворожцов Сергей Иванович	Бригадир	4439,68	177,59	1,3	5771,58	1900,93
Галкин Михаил Николаевич	Электрогазосварщик	10824,03	865,92	1,2395	13416,39	4418,83
Дерюгин Андрей Борисович	Электрогазосварщик	2097,55	167,80	1,2064	2530,48	833,44
Дымченко Владимир Иванович	Электрогазосварщик	9648,73	771,90	1,2949	12494,14	4115,08
Егоров Александр Сергеевич	Электрогазосварщик	9409,01	752,72	1,2695	11944,74	3934,13
Заливин Игорь Геннадьевич	Слесарь подвижного состава	7551,18	604,09	1,1269	8509,42	2802,67
Ивахин Вячеслав Викторович	Электрогазосварщик	9648,73	771,90	1,3139	12677,47	4175,46

Выводы:

1 Новая корпоративная система премирования ОАО «РЖД» отвечает теоретическим требованиям, предъявляемым к системам премирования по количеству и назначению показателей премирования. Они учитывают как основные показатели работы структурных подразделений и филиалов Компании, так и показатели работы каждого работника.

2 Для определения величин показателей премирования третьего уровня для предпри-

ятий эксплуатационного сектора вагонного хозяйства следует рассмотреть возможность использования информационного пространства локальных информационно-аналитических систем.

3 В качестве показателей третьего уровня целесообразно использовать уже проверенные практикой коэффициенты интенсивности труда и индивидуального вклада.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Макогон, Д.В. Экономическое значение повышения качества обслуживания грузовых вагонов / Д.В. Макогон, О.В. Речкунова // Вестн. ВНИИЖТ. -2006. -№6. -С. 35-38.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** вагонное хозяйство, мотивация труда, показатели системы премирования  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Дементьев Алексей Петрович, канд. экон. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

## ПОЛИТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПРИ ВСТУПЛЕНИИ РОССИИ В ВСЕМИРНУЮ ТОРГОВУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ

ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова»

**Е.Н. Жирков**

**POLITICAL FACTORS DURING RUSSIA'S ADMISSION TO THE WORLD TRADE ORGANIZATION**  
«North-East federal university named M.K. Ammosov»  
E.N. Zhirkov

There are many solutions of the problems on Russia's admission to the WTO. The author insists that political factors may play positive role during negotiations. The good example is transport complex.

*Keywords: negotiations, world trade organization, factors, trade, admission*

Предлагаются пути решения проблемы вступления в ВТО, определяется степень влияния политических факторов. Автор придерживается точки зрения, что политические факторы при проведении переговоров в большинстве случаев играют положительную роль. В качестве хорошего примера приводится транспортный комплекс.

Значимость исследования политических аспектов переговоров по вступлению России в ВТО и политико-экономических последствий этого шага вызвана очевидной затяжкой самого процесса. Особенность переговорного процесса по вступлению РФ в ВТО заключаются в том, что существующие политические разногласия влияют только на отдельные моменты экономической составляющей. Четкой границы между политической и экономической стороной не существует, не наблюдается их взаимосвязь.

Для наиболее четкого определения и исследования поставленной задачи необходимо дать характеристику ВТО с политической точки зрения. По оценкам многих ученых политический аспект появления ВТО является важным элементом для всей системы международной торговли. Организация, занимающаяся разрешением торговых спором, по своей сути является эффективным механизмом решения политических проблем.

С целью отражения полной политической картины необходимо рассмотреть процедуру вхождения в ВТО. Вхождение в ВТО можно разделить на несколько этапов. В основе лежит согласие всех членов на прием новичка и равноправие. Государства имеют равные права для блокировки решения о вступлении. Формально политический вес государств не учитывается. Однако, как мы видим, сама процедура вступления характеризуется сложным переговорным процессом, за которым могут стоять политические факторы. Государства с мощной экономикой имеют все возможности для предъявления условий не связанных с экономической сферой.

Современное формирование Российской Федерации как полноправного переговорщика началось в 2000 году. За прошедший более чем восьмилетний период, переговоры по вступлению характеризовались интенсивным взаимодействием со странами участницами ВТО по различным сферам деятельности: в нормативно-правовой сфере, регулирование торговли товарами и услугами. Также привлекались эксперты по различным сферам. При этом не-

обходимо учитывать, что специальное форсирование и замедление переговорного процесса может негативно сказаться на конечном результате.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что у России на сегодняшний момент отсутствуют объективные препятствия для членства в ВТО.

Далее следует затронуть непосредственно политические аспекты вступления РФ в ВТО. Выделяются два направления переговорного процесса. К внутреннему направлению относятся сторонники и критики вступления, а также официальная позиция российской власти, призванная продвигать линию на вступление в ВТО. К внешнему направлению относятся отдельные переговоры РФ с участниками процесса (основные – США, страны ЕС, страны с которыми не были заключены соглашения). Также сюда можно отнести интеграционный процесс на пространстве СНГ.

Основная задача государства на внутреннем уровне – добиться слаженности работы среди органов государственной власти, исключить бюрократизм, а также заручиться поддержкой деловых кругов, четко объяснив, что вступление в ВТО в интересах самих же компаний. Одним из основных доказательством того, что курс на вступление в ВТО является приоритетом для российского правительства, служит пункт в посланиях Президента Федеральному Собранию.

Политическая задача по обеспечению членства РФ в ВТО, которую преследовала власть, выработала новый правительственный курс. В соответствии с ним, возможность неучастия России в ВТО исключается. Как в любом переговорном процессе, основными участниками являются крупные компании, занимающиеся внешней торговлей.

Залогом успеха власти в привлечении основных деловых кругов страны на свою сторону является стабильная по сравнению с девяностыми годами политическая ситуация в стране. Период девяностых годов характеризовался острым противоборством между ветвями власти. Самым главным фактором, характеризующим обстановку в тот момент была неясность того, вступить в ВТО или нет. За последние десять лет ситуация в законодательных органах, где большинство мест принадлежит проправительственной партии Единая Россия, радикально изменилась.

Характеризуя противников вступления, следует отметить отраслевую направленность. Фактически те отраслевые компании, которые ранее заявили свое негативное отношение к вступлению, не изменили свою позицию. В целом, как было сказано выше, на политическом уровне преград для вступления не осталось.

Среди российского общества нет единого мнения о вступлении в ВТО. Опросы показывают, что не существует объективной картины среди населения. Граждане получают информацию из отчетов правительства. В то же время можно сказать, что подавляющее большинство поддерживает правительственный курс, а следовательно они являются сторонниками вступления.

Характеризуя процесс переговоров на внутривнутриполитическом уровне, необходимо сказать, что залогом успеха переговоров по вступлению в ВТО стала сильная позиция власти и ее взаимоотношения с деловыми кругами. Правительство практически взяло под контроль основные компании, связанные с процессом по вступлению в ВТО. Этот шаг правительства существенно сократил количество противников, уменьшил влияние компаний, которые, преследуя свои интересы, противились вступлению.

Успешное решение проблем вступления на внутреннем уровне тесно взаимосвязано с укреплением вертикали власти. Впервые в российской истории официальная власть и деловые круги смогли найти общий язык по столь важному и ключевому вопросу, как вступление в ВТО.

Затронем внешнеполитические факторы вступления. За восемь прошедших лет сформировалась четко обозначенная картина. Главной чертой стало смещение центров интеграции. США и страны ЕС из сторонников России стали противниками вступления на выгодных ей условиях.

Несмотря на продолжающиеся трудности, договоренности с ЕС и США являются важными результатами переговорного процесса, их очень значимо в успешном завершении процесса. Существенную роль в организации ВТО играют также небольшие страны. Не обладая большим политическим весом, эти государства, как показал опыт последних лет, способны эффективно решать вопросы вступления новых членов, оказывая на них определенное давление. Яркий пример – взаимоотношения России и Грузии.

Отношения с Грузией существенно сказались на переговорном процессе. После не-

скольких лет простоя в 2006 году переговоры между РФ и Грузии возобновились. Фактически Грузия выставила России ультиматум, потребовав вывода войск и возвращения двух республик – Абхазии и Южной Осетии.

На этом фоне переговоры по вступлению в ВТО со странами СНГ проходят достаточно интенсивно и успешно. Главной чертой и залогом упрочнения внешнеполитических позиций РФ в СНГ стала четкая позиция и собственные критерии относительно ВТО. Российские переговорные позиции стали основой для вступления в ВТО целого ряда стран-членов СНГ.

Подводя итог характеристике переговорного процесса, можно отметить его политизированность. Достигнутые официальные договоренности и подписанные соглашения не гарантируют России статуса члена ВТО. Опыт других стран показывает, что государства-члены в любой момент могут изменить свою позицию, возобновив переговорный процесс на совершенно невыгодных для России условиях. В особенности это касается государств с мощной экономикой, имеющих большой политический вес в мире.

Согласно множественным исследованиям последствия вступления в ВТО для России в целом носят позитивный характер. Следует сказать, что точные оценки последствий вступления дать сложно, для получения объективной картины следует использовать опыт ее участников. За всю историю ВТО не было случая добровольного выхода стран-участниц. Этот факт свидетельствует о минимальном негативном опыте членства.

Эффект от вступления положительно скажется на деятельности основных компаний лидеров экономики. Главной проблемой является отсутствие информированности о принципах работы ВТО, о конкретных шагах и действиях правительства.

Преимущества, полученные Россией в результате вступления, смогут стать важными инструментами в управлении и развитии отечественной экономики. Имея торговые соглашения со многими странами-участницами, Россия практически уже функционирует в правовой системе ВТО. Плюс ко всему наблюдается устойчивая политическая ситуация.

В то же время, благоприятно сказываясь на экономическом развитии страны, членство в ВТО лишь косвенно затрагивает отдельные отрасли. В качестве примера возьмем транспортный комплекс. Обязательства России в ВТО, касающиеся транспортного сектора, находятся в рамках действующего законодательства и не меняют существующую систему регулирования международной торговли транспортными услугами. Сохраняется система двусторонних соглашений, регулирующая международные автомобильные и железнодорожные перевозки, а также система регулирования допуска иностранных судов и перевозчиков к внутренним водным сетям. В отношении морских перевозок обязательства в ВТО тоже не меняют существующие в настоящее время условия доступа иностранных поставщиков на рынок. В сфере авиационного транспорта обязательства принимаются только в секторе дополнительных услуг и учитывают существующие ограничения иностранного участия в секторе. Обязательства по вспомогательным транспортным услугам также отражают нынешнюю систему регулирования. Они не предусматривают каких-либо количественных ограничений для иностранных поставщиков, формируя, таким образом, благоприятный климат для иностранных инвестиций, приток которых будет способствовать развитию всей российской транспортной отрасли.

Полноправное участие России в многосторонней торговой системе и гарантированная нормами ВТО транспарентность законодательства должны увеличить вовлеченность страны в международную торговлю, повысить инвестиционную привлекательность, вырастут возможности для реализации транзитного потенциала страны.

Задача правительства на этапе переговоров заключается в обеспечении условий для минимизации негативных последствий вступления. Залогом к успеху в этом направлении будет служить эффективная экономическая политика и грамотное регулирование торговых отношений непосредственно с участниками ВТО.

При принятии программы вступления правительство ориентировалось на последствия краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного характера. Принимая в расчет выгоды и потери от вступления в ВТО, можно сказать, что вступление в ВТО на выгодных условиях вполне достижимо. При этом необходимо соблюдать ранее подписанные договоренности и параллельно заниматься программой по модернизации экономики.

Получив статус члена ВТО, Россия автоматически получит возможность влиять на процессы в международной торговой системе. Возможности для этого на данном этапе у России нет. Также членство даст возможность отстаивать национальные интересы во внешнеэкономических делах.

Подводя итоги необходимо отметить ряд следующих моментов. Учитывая многолетний опыт функционирования ВТО и ее универсальность, можно сказать, что степень эффективности организации находится на очень высоком уровне. Структура ВТО и аспекты ее деятельности имеет ярко выраженную политическую составляющую. Процедура получения членства в организации хоть и является стандартной для всех кандидатов, несет в себе нюансы, связанные с постановкой четких критериев по вступлению.

Российскому правительству необходимо продолжить работу по вступлению в ВТО, попытаться свести политические уступки в данном направлении к минимуму.

После вступления в ВТО необходимо продолжить работу в рамках региональных организациях, прежде это относится к ЕврАзЭС. Для эффективного решения вопроса по вступлению в ВТО и успешного регулирования торговой политики необходимо усилить работы в рамках МЭРТ, делая упор на основных направлениях внешнеторговой политики. Политические факторы не должны становиться препятствием для вступления России в ВТО, они должны быть преимуществом.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** переговоры, всемирная торговая организация, факторы, торговля, вступление  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Жирков Егор Николаевич, аспирант ФГАОУ ВПО «СВФУ им. М.К. Аммосова»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58, ФГАОУ ВПО «СВФУ им. М.К. Аммосова»

## **МИРОВАЯ ПРАКТИКА ПОДДЕРЖКИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ И СУДОВЛАДЕЛЬЦЕВ**

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

**А.О. Самбур**

**THE WORLD PRACTICE OF THE SUPPORT OF DOMESTIC SHIPBUILDERS AND SHIP-OWNERS**  
**«Novosibirsk state academy of water transport»**  
A.O. Sambur

In this article are presented world practice of countries in sphere of the support of domestic shipbuilders and ship-owners.

*Keywords: leasing, the support, shipbuilders, ship-owners*

Представлена мировая практика государств по поддержке судостроительной отрасли и судовладельцев.

Часто транспортную отрасль называют кровеносной системой экономики страны. От слаженной работы транспортной системы и бесперебойности транспортных процессов зависит развитие экономики в целом. Для России, как самой большой страны по территории, транспортная составляющая играет особо важную роль в экономике. Если при осуществлении транспортного сообщения внутри страны в направлении «запад-восток» основную роль играет железнодорожный и автомобильный транспорт, то в меридиональном направлении несомненно наиболее важное значение по праву отводится речному транспорту, как наиболее экономичному. Несмотря на очевидное преимущество речного транспорта при перевозке грузов в меридиональном направлении, зачастую перевозки оказываются неэффективными. Причиной этому следующие факторы: неэффективное использование имеющегося подвижного состава, отсутствие в парке необходимых конструктивных типов судов, а также ряд налоговых аспектов действующего налогового законодательства. Вышеуказанные причины вынуждают судоходные компании закладывать все расходы в тарифы на перевозку, что приводит к неконкурентоспособности компаний на рынке грузоперевозок. При этом снижение либо не повышение тарифов может поставить ряд судоходных компаний на грань банкротства.

При сложившейся ситуации выход может быть найден только внутри судоходных компаний. В первую очередь, компании должны отказаться от непрофильных активов (продав или списав с баланса), произвести замену неэффективных/неиспользуемых судов и силовых установок на современные более экономичные, отвечающие современным требованиям.

Современное состояние судостроительной отрасли России нельзя назвать нормальным. По информации Федерального агентства морского и речного транспорта, износ оборудо-

дования механических цехов российских судостроительных заводов составляет 85%, литейных – 73-75%, комплексных доковых – 65%. В целом износ оборудования по отрасли оценивается в 70%. Основная проблема – моральное устаревание оборудования. Из-за отсталой материально-технической базы российские судостроители существенно проигрывают мировым лидерам судостроения по трудоемкости постройки судов. По оценкам Центрального научно-исследовательского института технологии судостроения, сегодня удельная трудоемкость изготовления одной тонны судовых конструкций в России составляет 105 человеко-часов, тогда как на современных зарубежных верфях – не более 29 человеко-часов [1]. При существующем положении судовой верфей производство современных судов не представляется возможным.

Другой важной проблемой является неспособность отечественных судовой верфей производить конкурентоспособную в ценовом отношении продукцию. 60-70% основной стоимости судна составляет судовое оборудование, производители которого находятся за рубежом. Действующая налогово-таможенная политика государства в отношении импортируемого оборудования и комплектующих приводит к удорожанию стоимости судов. Кроме того, зачастую государство пытается самоустраниться от решения ряда проблем, перекладывая их на плечи собственников бизнеса. Но нужно представлять масштаб бедствий, которые лягут на плечи государства после окончательной потери производства – мощностей, технологий и, главное, отпуска профессионального кадрового состава.

В качестве аргумента необходимости участия государства в процессе модернизации судостроительной отрасли и поддержки судовладельцев уместно привести пример развитых стран, занимающих лидирующие позиции на мировом рынке судостроения и водных грузоперевозок.

Стоит отметить, что практически все развитые страны в той или иной форме участвуют в развитии собственного судостроения и поддержке судовладельцев, защищая их всевозможными доступными методами. В таблице 1 представлены правительственные меры по поддержке национального судостроения в мире [2].

Из представленных в таблице 1 данных видно, что почти все указанные страны заинтересованы не только в развитии отечественного судостроения для нужд собственной экономики, но и активно поддерживают отечественные судостроительные компании, экспортирующие продукцию. Итог данной поддержки очевиден:

- одно рабочее место в судостроении дает несколько в смежных отраслях: металлургии, машиностроении, научных центрах и пр.;
- увеличение налоговых поступлений в

*Таблица 1 – Правительственные меры по поддержке судостроения в мире*

Правительственная мера	Австралия	Бельгия	Дания	Финляндия	Франция	Германия	Греция	Италия	Япония	Южная Корея	Нидерланды	Норвегия	США
Дотации на строительство судов	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-
Помощь в модернизации и реструктуризации верфей	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	-	+
Принятие программ финансирования верфей	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-
Субсидирование строительства судов на экспорт	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Налоговые льготы	+	-	+	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-
Снижение таможенных тарифов	+	+	-	+	-	+	+	+	-	+	+	-	-
Национализация верфей, правительственное участия	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-
Помощь в проведении научных исследований	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+

бюджет после становления и укрепления позиций судостроительных предприятий;

- снижение зависимости страны от иностранных производителей водного транспорта и комплектующих (транспортная независимость) и так далее.

Для понимания необходимости введения протекционистской политики в отношении отечественного судостроения будет полезным посмотреть опыт ряда стран, занимающих передовые позиции в судостроительной отрасли.

Во всех странах развитие судостроения происходит волнообразно – бурный рост и временный спад, в зависимости от текущих государственных мер, направленных на развитие отрасли. Например, Великобритания, господствовавшая в мировом судостроении в начале

XX века, полностью потеряла его уже к 1960-м годам. США, лидировавшие в 1930-1940-е годы, практически полностью утратили позиции в гражданском судостроении к 1970-м годам, сохранив лишь военное кораблестроение. Германия, совершившая рывок после Второй мировой войны, потеряла темп в конце XX века. Япония, вырвавшаяся на первое место в 1970-1980-е годы уже в 1990-е, скатилась на второе место после Южной Кореи, поднявшей свою судостроительную промышленность за счет полного освобождения от налогов на определенный период. Сейчас на первое место выходит Китай [3].

Суммарно мировое судостроение выпускает продукции примерно на 100 млрд. \$ в год. Основные мощности расположены довольно компактно: 80% верфей находится в Южной Корее, Японии и Китае. Рассмотрим опыт наших дальневосточных соседей.

В 1949 году в Японии был создан Совет по вопросам совершенствования промышленности при Министерстве внешней торговли и промышленности. В состав Совета вошли представители власти и бизнеса. Основой для развития японского судостроения стала нормализация положения в отраслях, которые являются поставщиками и подрядчиками для судовой промышленности. Для улучшения ситуации при поддержке государственного Japan Development Bank был принят ряд мер – проведена реструктуризация задолженностей, сокращение процентных ставок для металлургических предприятий, что позволило частично снизить издержки судостроения.

В середине 1960-х Япония производила около 40% продукции мирового судостроения. В 1960-е и в начале 1970-х годов значимой формой господдержки стало проведение ускоренной амортизации активов, связанных с проведением научно исследовательских и опытно-конструкторских работ.

После энергетического кризиса 1973-1974 гг., когда загрузка японских судостроительных мощностей упала более чем на треть, госорганами страны была разработана стратегия перестройки материало-, энерго- и трудоемких производств. В основу этой стратегии лег закон «О чрезвычайных мерах по стабилизации структурно депрессивных отраслей», принятый в 1978 году сроком на пять лет. В соответствии с законом были реализованы меры по государственному стимулированию демонтажа устаревшего и приобретению современного оборудования, по внедрению энергосберегающих технологий и развитию перспективных направлений в отрасли. Для этих целей в государственном Japan Development Bank был создан специальный кредитный фонд, из которого выделялись средства на закупку оборудования для строительства новейших судов разного назначения.

Заслуживает внимания опыт Южной Кореи. Считается, что развитие судостроения в Южной Корее началось с Плана развития тяжелой и химической промышленности, о котором правительство этой страны заявило в начале 1970-х годов. Среди пунктов этого плана значилось формирование конкурентоспособной судостроительной промышленности, которая должна была увеличить конечный спрос на продукцию металлургии, химии и других секторов промышленности, обеспечить национальных перевозчиков судами.

В 1974 году в г. Ульсане начала функционировать одна из крупнейших в мире верфь Hyundai Heavy Industries (группа Hyundai), которая начала строить современные конкурентоспособные суда. Южная Корея сумела использовать шансы, которые ей предоставила реструктуризация японского судостроения, вызванная кризисом 1973-1974 гг. Корейские компании внедрились в сектора трудоемких производств – ремонт и переоборудование судов, строительство несложных транспортных судов общего назначения. Для этого из Японии импортировались силовые установки, электротехника, навигационное оборудование. В 1980-е годы в Корее были запущены собственные производства комплектующих, расширилась номенклатура выпускаемых судов.

С целью поддержки развития отрасли правительство реализовало ряд мер в тарифно-таможенной сфере, в области организации финансирования производства, кроме того, государство стимулировало консолидацию отрасли. В частности, были снижены или вовсе отменены пошлины на импорт промышленного оборудования и комплектующих, внедрялись механизмы тарифных и нетарифных ограничений, призванные защищать внутренний рынок и, соответственно, судостроительную промышленность.

Кризис 1997-1998 годов вызвал структурную перестройку южнокорейского судостроения. Государство активно содействовало реструктуризации долгов судостроительных компаний.

В целом государство сыграло очень важную роль в преодолении последствий кризиса, поддержав слияния и поглощения мелких отраслевых игроков. Меры по стимулированию

консолидации носили достаточно жесткий характер: небольшие компании, отказывающиеся от интеграции в крупные корпорации, лишались финансовой поддержки. В результате этого отрасль фактически поделили между собой всего четыре компании. Консолидация судостроения сопровождалась государственным финансированием НИОКР, которые были направлены на освоение производства высокотехнологичной продукции.

Корея для обеспечения судостроительной отрасли финансовыми ресурсами создала Национальный инвестиционный фонд, который предоставлял целевые долгосрочные кредиты под льготные проценты. Источниками средств фонда служили пенсионные накопления госслужащих и ресурсы контролируемых правительством банковско-кредитных организаций. При этом государство определило виды деятельности, которые кредитовались на льготных условиях в первую очередь. Это развитие профильных производств в судостроении, импорт промышленного оборудования, закупки комплектующих.

Государство компенсировало разницу между рыночной и льготной процентной ставкой, содействовало страхованию рисков. Также при государственной поддержке были развернуты программы по целевой подготовке кадров и по содействию в прикладных научных исследованиях.

Еще одним интересным примером поддержки судостроения, происходящим практически у нас на глазах, является опыт Китая. Китай, как и Турция, во многом копировал японский и южнокорейский опыт развития судостроения. Набор инструментов государственной поддержки отрасли стал стандартным: помощь в закупке технологий и оборудования, льготное кредитование производства, субсидирование НИОКР и поощрение структурных реформ отрасли.

В Китае судостроение признано одной из важнейших отраслей для экономики страны. Министерство коммерции Китая, контролирующее импорт передовой техники и оборудования, предоставляет судостроительным предприятиям льготы и даже финансовую поддержку для закупки важных с точки зрения развития отрасли технологий.

В 1999 году Генеральная государственная компания судостроительной промышленности Китая, объединявшая все судостроение и судоремонт в стране, была реорганизована. В процессе акционирования были созданы две крупные вертикально-интегрированные компании: Китайская государственная судостроительная корпорация и Китайская судостроительная промышленная корпорация. Вместе с тем судостроительные компании Китая были освобождены от уплаты 3-процентного налога на землю, направляемого в местные бюджеты.

В 1980 году Китай занимал 17 место в мире по объемам судостроительной продукции. Но предоставляемые государством преференции и субсидии в сочетании со сравнительно дешевой, дисциплинированной рабочей силой и копированием зарубежных технологий, в начале 2000-х годов вывели китайское судостроение на третье место после Южной Кореи и Японии. В настоящее время китайские корабли активно внедряются в нишу высокотехнологичных и дорогих судов и по ряду направлений уже вышли на первое место.

Следует отметить, что в стране с самой «либеральной» экономикой (Соединенные штаты Америки), к примеру, помимо экономических методов поддержания отечественного судостроения прибегают и к прямым декларативным запретам по ограничению использования флота других стран на внутренних водных путях. Действующий в США известный закон Джонса, который работает еще с 1920 года предусматривает, что каботажное плавание у берегов США (то есть без выхода в иностранный порт) может осуществляться судами только под американским флагом, либо построенными на американских верфях, либо же судами, которыми владеют американские граждане, или если команды судов состоят из американских граждан.

Еще одной, не менее важной проблемой, стоящей уже непосредственно перед российскими судоходными компаниями является проблема привлечения финансирования для обновления стремительно стареющего флота. Из представленных ниже таблиц 2 и 3 видно, что из года в год количество зарегистрированных в речном регистре судов снижается [4]. Параллельно происходит общее устаревание всего парка речных судов. По состоянию на 2008 год в структуре речного флота России порядка 85% флота преодолели возрастную планку в 20 лет.

Существующее катастрофическое положение речного флота России нужно исправлять уже сегодня. Одним из механизмов, способных помочь обновить и заменить парк речных судов, может стать лизинг как наиболее эффективный финансовый инструмент. Однако, несмотря на ряд преимуществ, предоставленных действующим законодательством лизингу, в

России пока не удается внедрить лизинговые схемы, доступные для всех судовладельцев. Для многих он так и остался только привлекательным инструментом, трудно применимым на практике.

Для выработки оптимальной схемы поддержки судовладельцев следует обратиться к опыту стран, достигших положительных результатов в развитии и поддержке судоходных компаний.

Несомненным лидером по развитию лизинга является США. Одной из причин быстрого развития лизинга в США в 60-70-х являлись налоговые льготы: ускоренная амортизация и инвестиционная налоговая льгота (до 10% стоимости новых инвестиций вычиталось из суммы налога). К примеру, расходы по приобретению предмета лизинга – 100 тыс. \$, инвестиционная льгота – 10%; 10 тыс. \$ подлежали вычету из суммы уплачиваемого налога.

Право на налоговые льготы возникало только тогда, когда договор лизинга соответствовал правилам, устанавливаемым для аренды Управлением внутренних доходов министерства финансов США:

- продолжительность лизинга должна быть меньше 30 лет;
- лизинг не должен предусматривать возможность покупки имущества по цене ниже разумной рыночной – например, за 1 \$;
- лизинг не должен предусматривать график платежей, где они вначале будут больше, а затем меньше. Это было бы свидетельством того, что лизинг используется как средство ухода от уплаты налога;
- лизинг должен обеспечить лизингодателю нормальный рыночный уровень прибыли.

В Великобритании лизинг получил значительное развитие только после 1970 года, когда были введены налоговые льготы. Компании могли вычитать 100% инвестиций из налогооблагаемой прибыли в году, в котором они производились. Эти льготы были существенны только для предприятий с большой доходностью.

Китай также не стал исключением в предоставлении льгот отечественным судоходным компаниям. Условия предоставления кредита китайским судовладельцам на покупку судов у Китайской государственной судостроительной корпорации и Китайской судостроительной промышленной корпорации предусматривали рассрочку платежа в размере до 80% от стоимости судна на 8,5 лет под 5,1% годовых при страховании 12% суммы кредита.

Многие российские эксперты судостроительной отрасли сходятся во мнении, что отечественных судостроителей и судовладельцев необходимо поддержать за счет активного внедрения лизинговых схем. В настоящее время уже основная часть судов в России приобретает в лизинг. Ряд компаний отдали предпочтение лизингу и заключили контракты на поставку речных судов:

– 27 января 2011 г. на ОАО «Судостроительный завод «Лотос» (г. Нариманов Астраханской области) состоялась закладки двух сухогрузных судов проекта RSD-49 смешанного типа «река-море» для ОАО «Западное пароходство» (г. Калининград). Суда планируется построить с привлечением механизма финансовой аренды (лизинга), лизингодателем определена государственная компания ЗАО «Гознак-лизинг» [5].

– ОАО «Судоходная компания «Волжское пароходство» при сотрудничестве с ОАО «Объединённая судостроительная корпорация» и ОАО «ВЭБ-лизинг» осуществили заказ на постройку 10 речных судов на Окской судовой верфи [6].

*Таблица 2 – Суда, стоящие на учете Российского речного регистра (по состоянию на 1 января)*

Показатель	2008	2009	2010
Количество судов на учете Российского речного регистра, тыс.ед.	28,2	26,1	25,8
– в том числе суда смешанного плавания, тыс.ед.	1,66	1,12	1,16
Количество новых судов, поставленных на учет за год, ед.	107	100	71
– в том числе суда российского производства, ед.	68	66	68

*Таблица 3 – Возрастная структура речных и озерных судов в России (%)*

Год постройки	1995 г.	2000 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.
до 1949 г.	1,2	0,9	1,0	1,0	0,8	0,7
1950-1959 гг.	13,7	12,2	10,0	10,0	9,0	9,0
1960-1969 гг.	21,3	18,7	16,7	16,5	16,5	16,3
1970-1979 гг.	27,1	24,6	24,8	24,6	24,7	24,6
1980-1989 гг.	30,8	33,9	33,7	33,5	33,5	33,5
1990-1999 гг.	5,9	9,6	10,3	10,4	10,7	10,6
2000-2006 гг.	–	0,1	3,5	4,0	4,8	5,3

ОАО «Объединенная судостроительная корпорация» запустила государственную программу развития лизинга морских и речных судов отечественного производства [7]. В рамках данной программы потенциальный участник предоставляет в ОАО «Объединенная судостроительная корпорация» заявку на участие в программе лизинга с приложением бизнес-плана, которые в дальнейшем передаются на рассмотрение коммерческим лизинговым компаниям. В случае согласия лизинговой компании включиться в работу по конкретной лизинговой сделке ОАО «Объединенная судостроительная корпорация» предлагает возможного исполнителя (судостроительную компанию) на постройку судна.

Следующим этапом идет заключение договора лизинга и судостроительного контракта, после подписания, которых между ОАО «Объединенная судостроительная корпорация» и лизинговой компанией заключается договор целевого займа на следующих базовых условиях:

- объем финансирования со стороны ОАО «Объединенная судостроительная корпорация» определяется с учетом денежных средств, выделяемых из бюджета РФ, объемов внебюджетного финансирования;
- срок займа – до 10 лет;
- процентная ставка по займу – ставка рефинансирования ЦБ РФ минус 1% годовых с обязательством лизинговой компании предоставить средства лизингополучателю по ставке рефинансирования ЦБ РФ.

Учитывая, что опыт российских коммерческих лизинговых компаний в сфере финансирования проектов речного транспорта не велик, а также отсутствие в штате специалистов узкого профиля (оценщиков, специалистов в области законодательства и прочих) многие компании просто не согласятся на участие в подобных сделках с небольшой величиной маржи.

Как видно, первые шаги по поддержке отечественных судоходных компаний уже сделаны. Но данных мер явно недостаточно для комплексной модернизации существующего в стране парка речных судов. Следует создать специализированную лизинговую компанию, которая будет работать исключительно в сегменте речного транспорта. Даная компания будет генерировать у себя все поступающие от судоходных компаний заявки на приобретение судов необходимого конструктивного типа и затем передавать их судостроителям для запуска в серийное производство, что в конечном счете удешевит стоимость судна. Одним из предполагаемых источников финансирования данной компании может выступить часть средств бюджета, выделяемых через ОАО «Объединенная судостроительная корпорация» на реализацию программы развития лизинга.

Таким образом, государство должно предпринять радикальные методы защиты и поддержки отечественного судостроения и судовладельцев. Основным результатом для государства будет являться восстановленный речной флот и современные судоверфи, которые в последующем многократно возместят бюджету предоставленные льготы и субсидии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Эксперт РА [Электронный ресурс]: журнал. -Режим доступа: [http://www.raexpert.ru/researches/river\\_shipbuilding/part2/](http://www.raexpert.ru/researches/river_shipbuilding/part2/). -23.04.2011.

2 Морская биржа [Электронный ресурс]: журнал. -Режим доступа: <http://www.maritimemarket.ru/article.phtml?id=174/>. -24.04.2011.

3 Коммерсантъ [Электронный ресурс]: газета. -Режим доступа: <http://www.kommersant.ru/doc/1520918>. -23.04.2011.

4 Эксперт РА [Электронный ресурс]: журнал. -Режим доступа: [http://www.raexpert.ru/researches/river\\_shipbuilding/part1/](http://www.raexpert.ru/researches/river_shipbuilding/part1/). -23.04.2011.

5 Официальный сайт компании ЗАО «Гознак-лизинг». -Режим доступа: <http://www.gznleasing.ru/news/news3011.html>. -22.04.2011.

6 Гудок [Электронный ресурс]: газета. -Режим доступа: [http://www.gudok.ru/transport/vodniy/?pub\\_id=346955](http://www.gudok.ru/transport/vodniy/?pub_id=346955). -23.04.2011.

7 Официальный сайт ОАО «Объединенная судостроительная корпорация» [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://leasing.oaoosk.ru/>. -24.04.2011.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** лизинг, поддержка, судостроители, судовладельцы  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Самбур Александр Олегович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПАССАЖИРСКОГО КОМПЛЕКСА ДАЛЬНЕГО СЛЕДОВАНИЯ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

М.П. Панина

THE BUSINESS PROCESSES IMPROVEMENT OF LONG-DISTANCE PASSENGER TRANSPORT  
«Siberian state transport university»  
M.P. Panina

The article discusses a complex of measures that reduces the costs of train's forming and running, as well as increases the profitability of passenger traffic in the regulated segment.

Keywords: passenger traffic, train's turnaround, use of capacity, multigroup train, receivership

Рассмотрен комплекс мероприятий, позволяющий сократить издержки при формировании и курсировании составов поездов дальнего следования, а также увеличить доходность пассажирских перевозок в регулируемом сегменте.

На рынке услуг по перевозке пассажиров в дальнем следовании ведущее место занимает железнодорожный транспорт. В России, как и в большинстве других государств, железнодорожные пассажирские перевозки являются убыточными. По результатам 2010 года операционная прибыль ОАО «Федеральная пассажирская компания» (далее – ФПК) была отрицательной и составила -21,5 млрд. руб. Лишь за счет выделения для ФПК субсидий из Федерального бюджета компании удалось достигнуть величины чистой прибыли в размере 571 млн. руб., что соответствует уровню рентабельности 3,2%.

Но если в прошлом году все выпадающие доходы за счет государственного регулирования тарифов в плацкартных и общих вагонах были компенсированы государством, то в бюджете 2011 года компенсация составила только 82% (меньше на 6,7 млрд. руб.). Ситуация с недостаточным субсидированием осложняется ухудшением положения железных дорог на рынке транспортных услуг. На фоне общего роста емкости рынка пассажирских перевозок дальнего следования (+6,8% к 2009 году) доля железнодорожного транспорта сократилась на 4%, что свидетельствует о возрастающей конкуренции со стороны авиационного транспорта (рисунок).

Таким образом, приоритетной задачей ФПК является повышение привлекательности своих услуг для пассажиров с целью увеличения доходности перевозок при одновременном снижении эксплуатационных расходов.

*Сокращение эксплуатационных расходов.* Одним из основных подходов к снижению убыточности перевозок в дальнем следовании является повышение качества использования подвижного состава. Улучшение его использования может быть достигнуто за счет снижения времени оборота составов и увеличения процента использования вместимости.

С целью сокращения оборота целесообразно применять увязку составов поездов разных назначений в общий оборот. Это мероприятие особенно актуально для местного сообщения, где в большинстве случаев каждый состав увязывается сам на себя, что приводит к увеличению доли времени нахождения на станциях формирования и оборота. В среднем вагоны местного сообщения находятся в движении лишь в течение 40% времени оборота. Остальные 60% тратятся на станциях. Некоторые поезда простаивают на конечных станциях до 18-ти часов; продолжительность стоянок для посадки-высадки в пути следования и других операций превышает 4 ч (более



Рисунок – Структура рынка пассажирских перевозок

15% оборота). Это свидетельствует о наличии резервов улучшения использования подвижного состава в местном сообщении. Увязка составов поездов разных назначений в общий оборот позволит уменьшить долю времени их нахождения на конечных станциях, следовательно, повысить эффективность использования.

Еще одним эффективным мероприятием является объединение маршрутов следования двух поездов в один. Это наиболее применимо к короткопробежным пассажирским поездам с дальностью рейса до 500 км. Они характеризуются незначительным среднесуточным пробегом и большим временем простоя на конечных станциях. Примером может стать объединение маршрутов поездов №613/614 Карасук-1 - Барнаул и №667/668 Барнаул-Рубцовск, курсирующих круглогодично, ежедневно. Поезд №613/614 с рейсом 489 км обслуживается двумя составами, поезд №667/668 с рейсом 280 км обслуживается одним составом. Если сохранить время отправления и прибытия поездов с участка Карасук-1 - Барнаул, сдвинуть время отправления и прибытия поезда №667/668, то эти поезда можно объединить в один Карасук-1 - Барнаул-Рубцовск. Объединение позволит сократить простои составов в пунктах их формирования и оборота. При увеличении расстояния следования поездов значительно снижается доля простоев их на конечных станциях в общем времени оборота и повышается доля полезной работы составов и обслуживающих их бригад проводников. На станциях, где объединяются поезда, отпадает необходимость в маневрах по формированию составов, в передвижении составов по горловинам для подачи и уборки, высвобождаются пути отстоя. В результате объединения составов снижается себестоимость пассажирских перевозок за счет улучшения показателей использования вагонов, локомотивов, станционных путей и повышения производительности труда локомотивных и поездных бригад.

Сократить время оборота состава можно также за счет уменьшения количества и продолжительности стоянок в пути следования, что особенно актуально для поездов дальнего сообщения. Примечателен опыт Западно-Сибирского филиала ОАО «ФПК», который практически исключил стоянки скорых поездов на станциях с незначительными размерами пассажиропотока. В результате удалось сократить потери времени, потери ранее накопленной кинетической энергии, которая гасится тормозами, а также потери, вызванные разгонами и замедлениями поезда при остановке. Помимо экономии расходов, сокращение количества остановок позволяет ускорить доставку пассажиров. Например, исключение стоянок на промежуточных станциях по маршруту Новосибирск-Адлер позволит снизить время следования более чем на 3 ч.

Эффективным мероприятием для снижения эксплуатационных расходов является курсирование многогруппных поездов. На Западно-Сибирской железной дороге в осенне-зимний период объединяют следующие поезда: №25/26 Новосибирск-Москва с поездом №55/56 Красноярск-Москва; №29/30 Кемерово-Москва с поездом №37/38 Томск-Москва. Благодаря уменьшению количества смен локомотивов и локомотивных бригад, сокращению эксплуатационных расходов, связанных с использованием вагонов и поездных бригад, двухгруппные поезда являются рентабельными.

Повышение коэффициента использования вместимости – одна из важнейших задач ФПК. По итогам 2010 года он составил 73%, что ниже уровня 2009 года на 0,7%. К 2013 году его планируется увеличить до 74%. Чтобы достичь этого результата, необходимо создать технологию оперативного изменения схем составов поездов, которая позволит находить оптимальное соотношение между спросом населения на перевозку и количеством вагонов в составе [1].

Согласно этой технологии, на основе прогнозного значения пассажиропотока будут определяться базовые потребности в подвижном составе (ядро) [2]. Затем, при заполнении минимального набора вагонов в составе поезда, учитывая ход продаж билетов в режиме реального времени, автоматизированная система будет открывать продажу в вагоны первой прицепной группы и т.д. Основой этого механизма может стать электронная система резервирования мест в поездах АСУ «Экспресс-3». Подобная технология позволит оперативно реагировать на изменение спроса на перевозки и для каждого рейса устанавливать оптимальное соотношение между потребностью населения и схемой состава поезда. Следовательно, коэффициент использования вместимости будет расти.

*Повышение доходности пассажирских перевозок.* С момента создания ФПК железнодорожные пассажирские перевозки стали рассматриваться не просто как социально-значимый вид деятельности, а как потенциально прибыльный и инвестиционно привлекательный вид бизнеса. Курсирование поездов «Сапсан» и «Аллегро», функционирование ча-

стных перевозчиков на направлении Москва - Санкт-Петербург доказали, что перевозка пассажиров может быть не только безубыточной, но и приносить доход на некоторых маршрутах. При этом, как показывают примеры зарубежных железнодорожных и отечественных авиационных перевозчиков, для достижения самоокупаемости необходимы эффективная маркетинговая политика и система управления доходностью.

Начиная с 2007 года, на сети железных дорог активно проводятся различные маркетинговые акции, позволяющие повысить привлекательность услуг железнодорожного транспорта в глазах пассажира и, следовательно, увеличить доходность перевозок.

В 2010 году наиболее успешными примерами таких акций были скидки на проезд на верхних полках купейных вагонов в течение 1-го и 4-го кварталов, специальные тарифы на поезда южного направления из Москвы и Санкт-Петербурга, скидки на поезда 400-й и 500-й нумерации и т.д. Если по итогам 2009 года дополнительный доход от маркетинговых акций достигал 307 млн. руб., то в 2010 году за счет расширения географии их применения – 1,4 млрд. руб. В 2011 году ФПК продолжает успешную практику проведения маркетинговых акций, сделав основной акцент на дерегулируемом сегменте перевозок и повышении спроса на купейные вагоны. Кроме того, ФПК готовит к внедрению программу лояльности пассажиров. Она позволит пассажирам накапливать баллы при покупке билетов, а впоследствии – при покупке услуг компаний-партнеров РЖД (гостиниц, банков и др.).

Таким образом, ФПК становится клиентоориентированной компанией, что позволяет ей на равных конкурировать с крупными авиакомпаниями на ряде популярных направлений.

Одной из эффективных бизнес-практик, успешно зарекомендовавших себя в работе авиакомпаний и зарубежных железнодорожных перевозчиков, является технология управления доходностью (Revenue Management). Она позволяет принимать решение об изменении стоимости услуг на основе прогноза пассажиропотока, хода продажи билетов, поведения конкурентов и т.д. [3].

Примечателен опыт британской компании-оператора Virgin Trains, которая для управления доходами стремится максимизировать прибыль от каждого проданного билета. С помощью системы RailRev компания регулирует объем продаж дорогих и дешевых билетов. Например, запросы на билеты меньшей стоимости в оперативном порядке могут быть отклонены в пользу более дорогих, и, наоборот, чтобы заполнить места, допускается увеличение продаж менее дорогих билетов [4].

Согласно [5], применительно к российскому железнодорожному транспорту основными элементами технологии управления доходностью являются: динамическое ценообразование, квотирование мест по тарифным классам, оптимизация продажи билетов на разных участках маршрутов, сегментация пассажиропотока. Наиболее целесообразным вариантом реализации этих методов является использование нелинейных экономико-математических моделей, адекватно отражающих зависимость спроса от цены билета для разных поездов и разных классов обслуживания [6]. Согласно проведенным расчетам, прогнозируемые результаты от реализации мероприятий по управлению доходностью на направлениях Санкт-Петербург - Москва, Москва-Нижний Новгород составят 1,65 млрд. руб. в год, что свидетельствует об эффективности рассмотренной технологии.

Заключение. В современных условиях развития пассажирского транспорта «борьба за пассажира» становится все более острой. Уменьшение размеров субсидирования пассажирских перевозок из Федерального бюджета, активная маркетинговая политика и поддержка государством авиакомпаний заставляют ФПК изыскивать новые эффективные меры повышения рентабельности.

Для решения этой задачи необходим комплексный подход к организации работы. С одной стороны, следует рационально использовать подвижной состав: ускорять оборот и повышать населенность. Это особенно актуально для регулируемого сегмента, где ФПК не может устанавливать рыночную цену на билеты.

С другой стороны, в дерегулированном сегменте, ФПК необходимо проводить максимально эффективную маркетинговую политику в комплексе с внедрением технологии управления доходностью. Эти методы прошли апробацию и получили признание среди крупнейших авиакомпаний и зарубежных железнодорожных перевозчиков.

Таким образом, устойчивая безубыточная работа ОАО «Федеральная пассажирская компания» требует активных научно обоснованных действий, как в области сокращения эксплуатационных расходов, так и в области повышения доходности перевозок.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Марчук, Б.Е. Стратегия управления пассажирскими перевозками на базе электронных систем резервирования мест / Б.Е. Марчук // Ж.-д. мира / РЖД. -М., 2004. -№3. -С. 43-50.
- 2 Панина, М.П. Способы определения базовых потребностей в подвижном составе для перевозки пассажиров в дальнем следовании / М.П. Панина // Вестн. трансп. Поволжья / СамГУПС. -2011. -№1. -С. 50-58.
- 3 Yeoman, I. Revenue management and pricing: case studies and applications / I. Yeoman, U. McMahon-Beattie. -London: Intern. Thomas Business Press, 2004. -232 p.
- 4 Modern Railways. -2002. -№3. -Р. 30-40.
- 5 Комаров, Л.К. Динамическое ценообразование и управление доходностью пассажирских перевозок / Л.К. Комаров // Ж.-д. трансп. / РЖД. -М., 2010. -№ 1. -С. 27-30.
- 6 Методы реализации системы управления доходностью применительно к пассажирскому железнодорожному сообщению / О.Ф. Мирошниченко, Г.Л. Венедиктов, В.М. Кочетков, С.С. Пастухов // Вестн. ВНИИЖТ. -М., 2010. -№6. -С. 10-15.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *пассажирские перевозки, оборот состава, использование вместимости, многогруппный поезд, управление доходами*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Панина Марина Петровна, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»*

**ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ  
ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей  
сообщения»

**М.О. Северова**

**QUESTIONS OF AN ESTIMATING THE EFFICIENCY OF ACTIVITY OF THE ENTERPRISES OF RAILWAY TRANSPORT  
INFRASTRUCTURE**  
«Siberian state transport university»  
M.O. Severova

Separation of infrastructure Management in the company Russian Railways has demanded creation of new approaches for an estimation of activity of this division

*Keywords: infrastructure management, system of indicators, safety and non-failure operation, level of the expenses, the reference approach*

Выделение в компании ОАО «РЖД» Дирекции инфраструктуры потребовало разработки новых подходов для оценки деятельности этого подразделения.

Существенные структурные преобразования, происходящие в последние годы на железнодорожном транспорте, нацелены, прежде всего, на повышение эффективности его функционирования. Переход отрасли к созданию вертикально интегрированного холдинга привел к появлению дочерних компаний и функциональных дирекций, что обусловило необходимость пересмотра показателей работы для вновь созданных или выделившихся структур. Примером тому является создание в рамках территориальных филиалов ОАО «РЖД» Дирекции инфраструктуры, которая объединила в единый комплекс хозяйства пути, энергетики, автоматики, гражданских сооружений и эксплуатационный сектор вагонного хозяйства, занимающиеся содержанием технических средств и постоянных устройств. Каждое отраслевое хозяйство прежде имело свою систему показателей для оценки деятельности, учитывающую специфику его работы. Однако, определяющими для железной дороги считались показатели локомотивного и вагонного хозяйств – скорость движения, масса поезда, нагрузка вагона и т.д. Что являлось оправданным, так как перевозка была комплексной услугой, включающей все составные части перевозочного процесса и главными показателями, отражающими качество оказываемых услуг, считались скорость доставки грузов, сохранность и безопасность перевозки при эффективном использовании активной части основных производственных фондов (подвижного состава).

В рамках существующей структуры ОАО «РЖД» комплекс инфраструктуры становится

крупнейшим подразделением компании, для которого необходимо построить свою систему показателей, позволяющих оценить эффективность деятельности этого подразделения [1]. Особое место в этой системе должны занимать показатели, характеризующие безотказность, ритмичность и безопасность предоставляемых инфраструктурой услуг. Для каждого хозяйства имеется перечень показателей, отражающих качество содержания технических устройств (балловая оценка, наличие отказов и браков и ряд других). Наряду с этим, одним из важнейших показателей эффективности работы является уровень затрат предприятий инфраструктуры, который в малой степени зависит от колебаний объемов перевозок. Именно поэтому важнейшим вопросом для вновь созданного подразделения становится возможность более эффективного управления затратами на предприятиях линейного уровня, что позволит обеспечить приемлемый уровень качественного состояния инфраструктуры при заданном бюджете расходов, даст возможность экономического обоснования инфраструктурной составляющей в тарифе за перевозку.

Для этих целей возможно применение эталонного подхода. Данный подход основан на систематической деятельности по поиску, оценке и учебе на лучших примерах. Он позволяет выбирать наиболее эффективно работающие подразделения и ориентироваться на них при постановке целевых заданий. Возможность использования эталонного подхода обуславливается тем, что в каждом хозяйстве существует большое количество подразделений, выполняющих одинаковые функции.

Выбор эталонного предприятия может осуществляться различными способами. За эталон могут приниматься подразделения, обеспечивающие показатели использования трудовых, материальных ресурсов и безопасности движения выше среднеотраслевого (или среднетранспортного) показателя [2]. Положение точки среднесетевых показателей определяет соотношение границ по аналогии с Бостонской матрицей. Применение данного подхода для выбора эталонного предприятия на полигоне одного из регионов хозяйства пути позволило получить результаты, представленные на рисунке.

На примере зависимостей эксплуатационных расходов от количества отказов (нарушение в работе рельсовых цепей, влекущее за собой временное прекращение движения) рассмотрим сравнение группы предприятий со среднетранспортным значением данных показателей (рисунок).

За эталон в данном случае принимаются так называемые «Лидеры качества», с высокой безотказностью движения и сравнительно меньшими удельными затратами. Для группы «Золотые звезды» необходимо разрабатывать мероприятия по сокращению эксплуатационных расходов, при сохранении высокого уровня безотказности движения. Дистанциям из группы «Загнанные лошади», необходимо улучшать качество содержания технических устройств при возможном дополнительном финансировании. Однако, особый интерес представляют предприятия, попавшие в группу «Темные дыры». Здесь необходим детальный анализ расходов, так как при относительно высоком уровне удельных затрат на содержание устройств инфраструктуры, уровень безотказности существенно ниже.

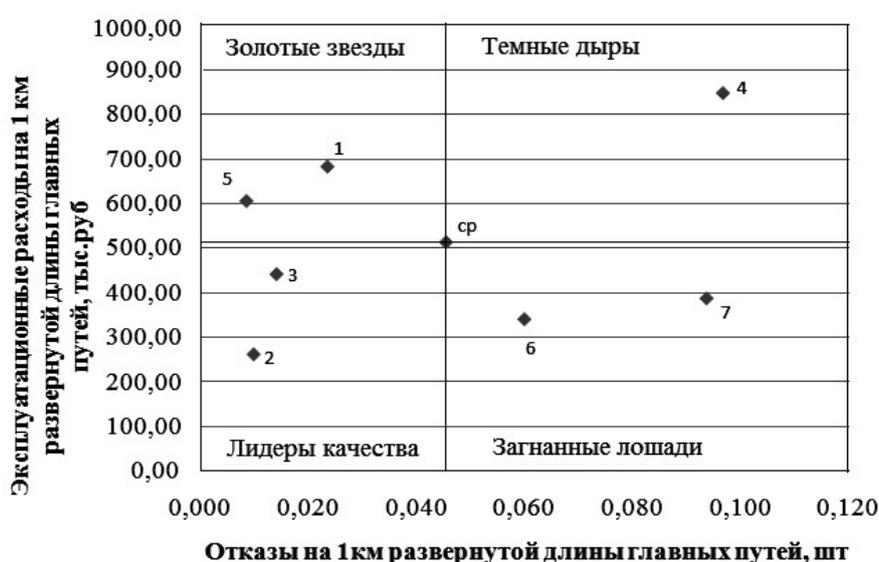


Рисунок – Положение дистанций пути одного из регионов дороги по безопасности движения и расходам

Приведенный выше пример говорит о возможности применения метода эталонного подхода для управления затратами подразделений инфраструктуры. Однако, по мнению автора, при выборе эталонных предприятий необходим детальный анализ технико-экономических условий рассматриваемых подразделений, который позволил бы на перво-

начальном этапе сформировать группы предприятий со сравнимым техническим оснащением и грузонапряженностью обслуживаемых участков, а для предприятий путевого хозяйства – с близкими техническими условиями эксплуатируемых линий (план и профиль пути, тип верхнего строения пути, наличие кривых и т.д.). И только на следующем этапе внутри сформированных групп может быть выбран «эталон».

Применение современных методов управления затратами позволит научно обоснованно планировать и исполнять бюджеты затрат предприятий инфраструктуры, а также повысить эффективность использования трудовых и материальных ресурсов железнодорожного транспорта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Воробьев, В.Б. Создание аппарата управления Дирекции инфраструктуры – структурного подразделения ОАО «РЖД» / В.Б. Воробьев // Материалы научно-практической конференции «Комплексная система содержания инфраструктуры ОАО «РЖД». -М., 2009. -С. 12-21.

2 Тихомиров, В.О. Резервы повышения производительности труда в структурных подразделениях железных дорог / В.О. Тихомиров, В.В. Тришанков, В.В. Смирнов // Экономика ж. д. -2010. -№9. -С. 51-56.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *дирекция инфраструктуры, система показателей, безопасность и безотказность, уровень затрат, эталонный подход*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Северова Марина Олеговна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»*

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

## **СИСТЕМА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ КАК ФАКТОР ЕГО ЭФФЕКТИВНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

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

**С.П. Кретов**

**SYSTEM OF ECONOMIC SECURITY FOR A TRANSPORT COMPANY AS THE FACTOR OF ITS EFFECTIVE OPERATION**

**«Siberian state transport university»**

**S.P. Kretov**

The article gives the results of the research on assessment of economic security for a transport company. The author suggests the system of measures aimed to achieve the effective level of economic security.

*Keywords: economic security, functional constituents, integral assessment, level of external threats susceptibility*

Исследованы особенности, проведена оценка состояния экономической безопасности транспортного предприятия и предложен комплекс мер, направленный на обеспечение её эффективного уровня.

Обязательным условием эффективного управления транспортного предприятия является поддержание должного уровня его экономической безопасности. Наличие многочисленных факторов риска, осложняющих принятие перспективных управленческих решений, обуславливает необходимость разработки целостной системы экономической безопасности предприятия (СЭБ).

В структуре функциональных аспектов комплексной системы экономической безопасности транспортного предприятия в увязке с его ресурсами можно выделить технико-технологическую, маркетинговую, финансовую, кадровую и управленческую составляющие. Их анализ определяет качество экономики предприятия, дает оценку её состояния, позволяет наметить и осуществить меры по нейтрализации угроз.

Интегральная оценка экономической безопасности предприятия одного из филиалов ОАО «РЖД» – железной дороги «N» показала некоторые особенности в формировании частных показателей финансовой и маркетинговой составляющих.

Для оценки финансовой устойчивости как одного из критериев экономической безопасности с целью интеграции ее результатов в комплексный индикатор целесообразно исполь-

зование двух основных её показателей по степени покрытия источниками: во первых, запасов и затрат или, во-вторых, внеоборотных активов. Наиболее общим показателем финансовой устойчивости является излишек или недостаток источников средств для покрытия затрат, рассчитываемый как разница между величиной источников и величиной затрат. Как правило, этот показатель оценивается трехкомпонентным критерием, характеризующим степень покрытия источниками запасов и затрат. Для транспортного предприятия – филиала компании в виду отсутствия долгосрочной кредиторской задолженности целесообразно рассматривать только два показателя финансовой устойчивости, характеризующих наличие собственных и общих источников:

- излишек или недостаток собственных источников;
- излишек или недостаток общей величины источников.

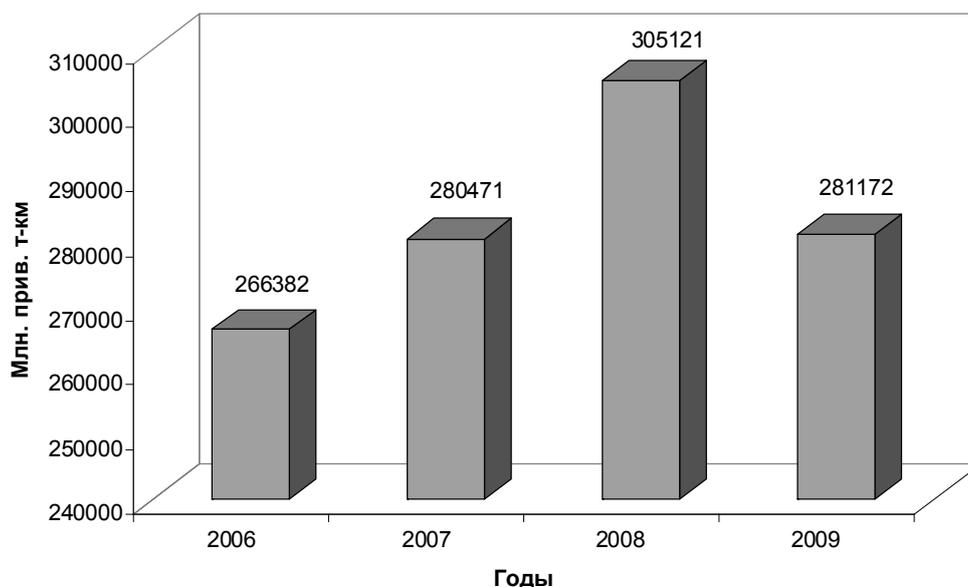
Тогда оценка финансовой ситуации с помощью этих показателей сводится к определению двухкомпонентного индикатора [1]. На основании этого индикатора можно выделить три типа финансовой устойчивости:

- абсолютная устойчивость  $S = (1,1)$ ;
- нормальная устойчивость  $S = (0,1)$ ;
- неустойчивое финансовое состояние  $S = (0,0)$ .

Следует также отметить особенность формирования собственного капитала в филиале компании, который включает в себя только добавленный капитал, которого недостаточно для полноценной оценки финансовой устойчивости. Поэтому для расчета использован собственный капитал с учетом уставного капитала, пропорция которого взята из учета его величины до реорганизации компании, исходя из специфики данного филиала.

В рассматриваемом филиале в 2007-2009 гг. тип финансовой устойчивости можно определить как нормальный. Однако если в 2008 году недостаток собственных источников был минимальным, что могло подвести к абсолютной устойчивости, то в 2009 году излишек общей величины источников был незначительным, что граничит с типом финансового состояния – неустойчивое.

При оценке маркетинговой составляющей экономической безопасности рассмотрен показатель спроса, характеризующий объем работы филиала в приведенных тонно-километрах (рисунок 1), хотя конечно, это не единственный и может быть, не основной показатель объема. Однако, этот показатель комплексно характеризует и перевозку грузов, и перевозку пассажиров – основную продукцию транспортных предприятий.

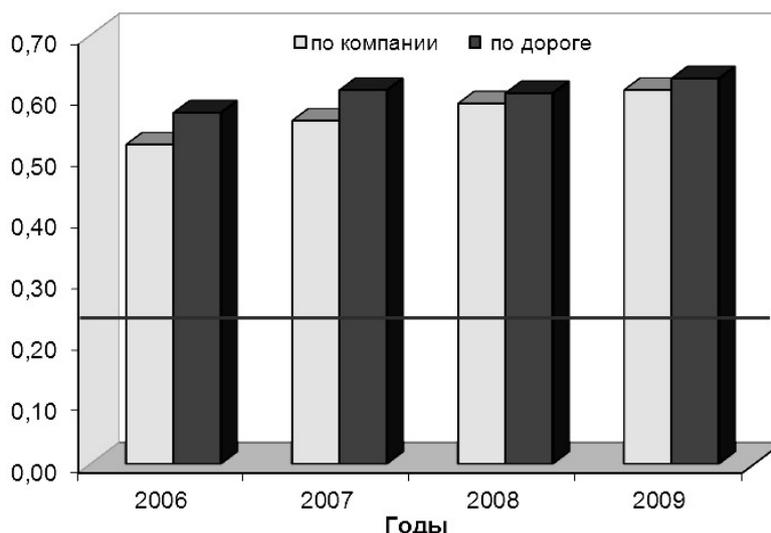


*Рисунок 1 – Объем работы по филиалу*

Как видно спрос на перевозки в границах филиала в 2006-2008 гг. постоянно рос, особенно в 2008 году, когда он увеличился на 15% по сравнению с 2006 годом. В 2009 году спрос опустился до уровня 2007 года, что можно объяснить мировым финансовым кризисом. Однако и в это время доля объема работы филиала в объеме работы компании оставалась постоянной на уровне 11,6%. Таким образом, уровень маркетинговой составляющей можно

оценить в основном как средний, за исключением 2008 года (высокий).

В качестве технико-технологической составляющей были выбраны показатели степени износа основных средств (рисунок 2) и объем финансовых ресурсов, выделяемых на НИОКР. Критерием оценки этих показателей предлагаем коэффициент износа транспортно-го предприятия в сравнении с нормативным значением, которое установлено на уровне 0,25.



*Рисунок 2 – Коэффициент износа основных средств*

По представленным данным можно сделать вывод о том, что класс состояния основных средств в филиале в 2006-2009 гг. характеризуется как депрессия (сильный износ от 50 до 75%). Такое состояние обусловлено увеличением коэффициента износа основных средств, который был выше как среднеотраслевых значений, так и пограничного уровня 0,25%, и неравномерным объемом финансовых ресурсов на НИОКР.

Анализ кадровой составляющей выполнен по традиционной методике и показал достаточно высокий её уровень, особенно в последние два года. Динамика рассмотренных кадровых показателей положительна, уровень производительности труда работников значительно выше среднеотраслевой, средняя заработная плата соответствует уровню, сложившемуся в компании.

Уровень экономической безопасности предприятия также может быть оценен степенью подверженности внешним угрозам и вероятностью их наступления. Под угрозами в филиале понимается возможная опасность или вероятность потери части ресурсов, недополучения доходов от прочих продаж из-за снижения спроса или дополнительных расходов в процессе производственной деятельности.

Для оценки ущерба использован упрощенный метод экспертной оценки его величины в диапазоне от незначительного до угрожающего существованию. По результатам оценки ущерб для филиала может быть отнесен к незначительному классу повреждения.

Аналогичная схема применена и для определения вероятности наступления угрозы от слабой до высокой. Для финансовой и маркетинговой функциональных составляющих вероятность наступления угрозы экономической безопасности может быть отнесена к среднему классу, для технико-технологической и кадровой – к умеренному.

Для определения интегральной оценки экономической безопасности применяем бальную оценку. В соответствии с фактическим уровнем показателей устанавливается количество баллов по каждой функциональной составляющей в границах, определяемых бальной таблицей соответствия их состоянию [1], которое должно быть умножено на ее весовой коэффициент, полученный экспертно, после чего суммируются данные всех составляющих. Таким образом, используя эти параметры, рассчитывается общая сумма баллов (таблица), на основании которых определяется класс предприятия.

Расчет интегральной бальной оценки показал, что в 2006-2009 гг. филиал может быть отнесен ко 2-ому классу экономической безопасности, то есть филиал является предприятием с нормальной степенью экономической безопасности; последствия внешних угроз будут существенны, но устранимы.

Этот вывод можно сделать, учитывая специфику филиала и в соответствии с фактическими и нормативными значениями его технико-экономических показателей и величиной их отклонения от барьерных (пороговых) значений индикаторов его экономической безопасности. Значение большинства основных (по мнению экспертов) индикаторов экономической безопасности переступает барьерное, и появляются признаки спада производства и частичной утраты потенциала вследствие исчерпания технического ресурса оборудования и площадей, сокращения персонала.

*Таблица – Расчет интегральной бальной оценки экономической безопасности филиала в 2006-2009 гг.*

Функциональные составляющие	Весовые коэффициенты	Уровень/Количество баллов			
		2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.
Финансовая	3	Норм. 5/15	Норм. 6/18	Норм. 7/21	Норм. 5/15
Маркетинговая	3	Средн. 6/18	Сред. 7/21	Высок. 8/24	Средн. 6/18
Технико-технологическая	2	Депрес. 5/10	Депрес. 4/8	Депрес. 4/8	Депрес. 3/6
Кадровая	2	Средн. 7/14	Средн. 7/14	Высок. 8/16	Высок. 10/20
Всего	10	57	61	69	59

Для укрепления экономической безопасности филиала мы предлагаем в первую очередь:

- повысить производительность труда для увеличения в дальнейшем собственного капитала предприятия;
- разработать программы, направленные на снижение расходов и потерь, повышение качества продукции, более полное использование производственных мощностей;
- расширить маркетинговую работу, направленную на исследование и увеличение рынка сбыта;
- разработать новые направления и программы развития для увеличения объема инвестиций для поддержания и развития имеющегося потенциала, обновления основных средств.

Реализация комплекса мер СЭБ, оказывающих непосредственное влияние на финансовое благосостояние филиала, что, в свою очередь, влияет на отдельные индикаторы состояния экономической безопасности компании в целом. Обеспечение безопасности финансовых ресурсов филиала может быть осуществлено посредством следующих мер:

- эффективное управление финансовыми потоками, включая финансовый менеджмент и налоговое планирование, налоговый менеджмент, а так же прогнозирование и планирование в налогообложении;
- жесткий финансовый контроль за их использованием, включая внутренний аудит, консалтинг.

Немаловажным, в современных условиях, в целях обеспечения экономической безопасности филиала является обеспечение сбалансированности отдельных аспектов его финансово-хозяйственной деятельности.

Социальная защищенность персонала, в целях экономической безопасности предприятий должна обеспечивать не только достойную оплату труда и выплаты социального характера, соразмерные объемам производства и уровню рентабельности, но и уменьшение частоты и тяжести травм при организации производственного процесса, охрану здоровья людей, избежание чрезвычайных ситуаций.

Таким образом, экономическая безопасность предприятия, может быть обеспечена, если будут определены важнейшие стратегические направления обеспечения безопасности филиала, построена четкая логическая схема своевременного обнаружения и ликвидации возможных опасностей и угроз, уменьшения последствий хозяйственного риска.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Экономическая безопасность железнодорожного транспорта: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Р.А. Кожевников [и др.]. -М.: Маршрут, 2005.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** экономическая безопасность, функциональные составляющие, интегральная оценка, степень подверженности внешним угрозам  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Кретов Сергей Петрович, канд. экон. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

## МАТРИЦА КОРПОРАТИВНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ КАК ОСНОВА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ (ИНДИВИДУАЛЬНЫХ) ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.П. Дементьев, Л.Н. Аршба

### MATRIX OF CORPORATE COMPETENCES AS THE BASIS FOR SUPPLEMENTARY (INDIVIDUAL) EDUCATIONAL PROGRAMMES

«Siberian state transport university»  
A.P. Dementiev, L.N. Arshba

The article gives a comparative analysis of the matrix of corporate competences for the holding open joint-stock company «Russian Railways» that provides comparison of the level of specialists for financial and economic bloc and the competence-based model of the graduate with bachelor degree. The author suggests the programs for supplementary education aimed at narrowing the gap between them.

*Keywords: matrix of corporate competences, competence-based model of a specialist, industry sphere, supplementary educational sphere*

Выполнен сравнительный анализ матрицы корпоративных компетенций Холдинга ОАО «РЖД» для уровня специалиста финансово-экономического блока с компетентностной моделью выпускника-бакалавра экономических направлений и предложены программы дополнительного обучения для сокращения разрыва между ними.

Корпоративные компетенции задают определенные требования ко всем работникам Компании в зависимости от уровня их должности с учетом текущих и будущих изменений в компании.

В модели корпоративных компетенций Холдинга ОАО «РЖД» выделены следующие: профессиональная компетенция, клиентоориентированность, корпоративность и ответственность, качество и безопасность, креативность и инновационность, и, конечно же, лидерство для 4-х уровней должностей – от специалиста (4-ый уровень) до руководителей высшего звена (1-ый уровень). Не умоляя значимости прочих, остановимся более подробно на профессиональных компетенциях, как наборе специальных знаний и навыков, необходимых для работников конкретной функции, профессии на первых двух уровнях – специалисты и линейные руководители финансово-экономического блока, которые должны быть сформированы у будущего специалиста.

Образовательная программа вуза должна представлять собой не только состав учебных модулей (дисциплин, курсовых работ, практик, выпускной работы) и образовательных ресурсов, но и быть организационным механизмом, позволяющим отслеживать изменения, происходящие в рыночном и отраслевом пространстве и оперативно реагировать на них, внося соответствующие корректировки в учебный процесс. Таким образом, отраслевой вуз должен учитывать потребности основного своего Заказчика, в данном случае Холдинга ОАО «РЖД». Модель эффективного взаимодействия «ВУЗ-Отрасль» в современных условиях может быть представлена следующим образом (рисунок).



Рисунок – Модель эффективного взаимодействия «ВУЗ-Отрасль»

В представленной модели взаимодействуют три функциональные сферы: основная образовательная, отраслевая и дополнительная образовательная.

В настоящее время в железнодорожных вузах, как и во всех российских высших учеб-

ных заведениях, идет процесс реорганизации учебного процесса по системе бакалавриата (4 года). Поэтому в основной образовательной сфере производится внутренняя оценка состава учебных курсов, практик, курсовых, дипломных работ и проектов, их методического обеспечения, уровня профессорско-преподавательского состава, а главное, знаний и умений, которые они формируют. В этой сфере формируется матрица компетенций выпускника – бакалавра.

Изменения, происходящие и в железнодорожной отрасли, и в экономике страны в целом, выдвигают новые требования к подготовке специалистов, которые и нашли отражение в матрице корпоративных компетенций Холдинга ОАО «РЖД» [1]. Именно здесь, в отраслевой сфере, производится внешняя оценка соответствия уровня компетенций выпускника, формируемых в вузе по программе бакалавриата, с компетенциями, требуемыми на железнодорожном транспорте. И это сравнение не всегда в пользу образовательной среды.

Анализ требуемого набора компетенций для специалистов экономической направленности, необходимого для практической деятельности на железнодорожном транспорте, указывает на узкие места их подготовки по системе бакалавриата [2]. Его основным итогом стал реестр компетенций, которые формируются в ходе учебного процесса недостаточно. К ним относятся:

1 Экономические

- знание о транспорте как особой сфере человеческой деятельности;
- знания и умения в области железнодорожной статистики;
- компетенции в области маркетинга грузовых и пассажирских перевозок, производства и ремонта технических средств, диверсификации спектра услуг;
- знания и умения в области анализа и калькулирования себестоимости на железнодорожном транспорте;
- знание сметного дела;
- знания и умения в области анализа макроэкономической и отраслевой конъюнктуры, отдельных конъюнктурных показателей;

2 Неэкономические:

- знание особенностей и сфер рационального применения различных видов транспорта и понимание возможностей выстраивания их эффективного взаимодействия;
- компетенции в области логистики;
- компетенции в области транспортной техники и технологий, оценки эффективности их применения;
- компетенции в области транспортного права;
- компетенции в области экономической географии и геополитики;
- компетенции в области информационных транспортных технологий.

Для устранения разрыва между требованиями отрасли и уровнем подготовки специалиста – бакалавра необходимо развитие дополнительной образовательной сферы через постановку в учебном процессе недостающих компетенций. Одним из таких направлений является магистерская программа. Однако она так же ограничена рамками государственного стандарта высшего профессионального образования и готовит специалиста, в большей мере, к научной карьере. Железнодорожная отрасль в настоящее время нуждается не столько в специалистах с мощной теоретической подготовкой, сколько в компетентных профессионалах.

Решению возникающих проблем при переходе на двухуровневую модель высшего образования может послужить развитие новых вариантов дополнительной подготовки бакалавров с увеличенной долей профессиональной подготовки в одной из прикладных областей экономики и менеджмента железнодорожной отрасли и освоением всех корпоративных компетенций.

Это может существенно усилить профессиональную направленность обучения, способствовать овладению основами бизнес-компетенций: методами корпоративного, финансового управления, менеджмента качества и другими важными для успешной профессиональной деятельности знаниями.

Основой содержания и организации образовательной деятельности может стать социальный заказ на индивидуальное образование, как некой отраслевой (корпоративной) составляющей, которая позволит производить индивидуальную коррекцию профиля и объема подготовки специалиста.

И такой заказ есть. Для обеспечения эффективной деятельности компании в Стратегии

развития кадрового потенциала ОАО «РЖД» на период до 2015 года указано на необходимость совершенствования системы обучения специалистов в направлении её индивидуализации.

Главная цель процесса обучения в рамках индивидуализированного подхода состоит в передаче обучаемым суммы знаний и навыков, характер которой определяется относительно предполагаемой будущей индивидуальной карьеры специалиста.

Содержание программ «индивидуализированного обучения» должно определяться «требованиями бизнеса» – Холдинга ОАО «РЖД» для конкретных рабочих мест специалистов с учетом индивидуальных потребностей в развитии и перспектив личной карьеры.

Таким образом, матрица компетенций позволяет всем трем сферам модели эффективного взаимодействия «ВУЗ-Отрасль» обмениваться своими продуктами на одном языке, в едином понятийном пространстве.

Разработка технологии всего комплекса дополнительного обучения с учетом матрицы корпоративных компетенций основного Заказчика – Холдинга ОАО «РЖД» делает организацию учебного процесса более эффективной, создавая возможность существенного расширения багажа знаний и навыков и, как следствие, профиля специализации будущих специалистов, в которых нуждается отрасль сегодня.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Стратегии развития кадрового потенциала ОАО «РЖД» на период до 2015 года: распоряжение от 31.08.2009 г. №1819р.

2 Мачерет, Д.А. Какие знания и умения необходимы в современных условиях экономисту на транспорте? /Д.А. Мачерет // Экономика ж. д. -2010. -№8. -С. 79-86.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** матрица корпоративных компетенций, компетентностная модель специалиста, отраслевая сфера, дополнительная образовательная сфера

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Деметьев Алексей Петрович, канд. экон. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»  
Аршба Людмила Николаевна канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»

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

## ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**Т.В. Андранович, М.О. Северова**

### FEATURES OF INFORMATION SUPPORT OF ECONOMIC CALCULATIONS WHILE CHANGING OF STRUCTURE OF RAILWAY BRANCH

«Siberian state transport university»

T.V. Andranovich, M.O. Severova

Separation of the vertically-integrated functional managements leads to occurrence of own information field of new divisions and it is necessary to consider this fact at calculations of specific transport expenses.

*Keywords: functional managements, algorithm of calculation, disaggregation of indicators, an information field*

Выделение вертикально-интегрированных функциональных дирекций приводит к появлению собственного информационного пространства новых подразделений, что необходимо учитывать при расчетах удельных транспортных затрат.

На всех этапах развития предприятия расчеты, связанные с определением себестоимости продукции, экономической эффективности планируемых мероприятий, непроизводительных затрат или ущерба имеют большое значение. Основой для этих расчетов являются данные о работе подразделений, отраженные в различных источниках – рабочих документах, статистических отчетах, выходных формах информационных систем. При изменении структуры предприятия – объединения отдельных подразделений или выделения новых участков - необходимо решать вопросы разделения существующего информационного пространства в новых условиях функционирования. Примером таких процессов может являться

компания ОАО «РЖД», структура которой в последние годы претерпела существенные изменения. Преобразование отрасли в вертикально-интегрированный холдинг потребовало разработки новых подходов к учету и планированию эксплуатационных затрат структурных подразделений. Если ранее в рамках железной дороги можно было определить все расходы перевозочного процесса с последующим определением себестоимости перевозок, теперь в отчетности территориального филиала отражена только часть затрат, связанная с содержанием инфраструктуры и эксплуатацией подвижного состава. Затраты, связанные с ремонтом подвижного состава и организацией движения отнесены на отдельные балансовые единицы. По существу показатель себестоимость перевозок может быть рассчитан только с учетом всех функциональных дирекций, базирующихся на полигоне данного территориального филиала. С другой стороны такая структура позволяет более прозрачно учитывать и оценивать расходы по видам деятельности (бизнес-процессам).

В сложившихся условиях вопросы расчета экономических показателей (удельных затрат) должны сопровождаться пояснениями о сфере их применения и возможной агрегации результатов различных подразделений.

Ниже, на примере расчетов экономической оценки показателей эксплуатационной работы будет представлен алгоритм формирования результатов по уровням управления.

Сложностью является то, что на отдельных дорогах процесс реструктуризации находится в различных стадиях, поэтому при создании модели для конкретного полигона необходимо учитывать, какие именно выделены функциональные дирекции, общее количество этих дирекций может быть различно.

Расчеты, производимые с учетом образования функциональных дирекций, требуют выделения в информационной базе показателей «общих» и «индивидуальных». Под общими показателями будем понимать такие, которые не зависят от их принадлежности к отдельной структуре (дорога или дирекция) и постоянны для выделенного полигона (например – в границах дороги). Принимая данную классификацию, общими будем считать объемные и качественные показатели, используемые при расчете экономической оценки показателей эксплуатационной работы, которые являются одинаковыми для всех подразделений и берутся из отчетности территориального филиала. Индивидуальными становятся расходы. Произошла дезагрегация отчетности о затратах –  $\gamma_u$ , многие из выделяемых вертикальных структур становятся самостоятельными балансовыми единицами, формирующими отчет о расходах. В результате, расходы, относимые на единичные и укрупненные ставки, отражаются в отчетности нескольких структур и получить общую картину можно только суммированием всех затрат.

В предлагаемой модели расчета это условие отразится следующим образом (рисунок 1) – все категории данных, кроме общих, будут разделены по соответствующим блокам.

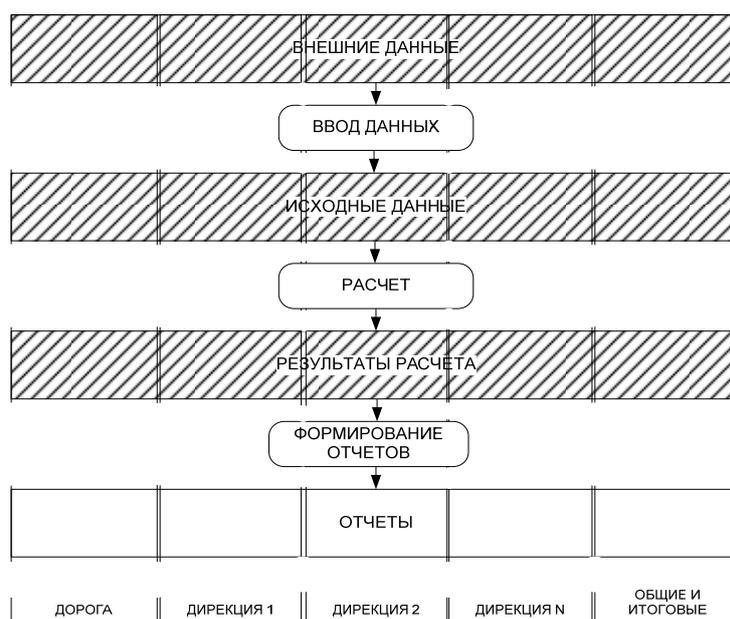


Рисунок 1 – Алгоритм расчета в условиях выделения функциональных дирекций

Далее набор базовых показателей формируется следующим образом:

- проводится анализ методики расчета [1] экономических показателей эксплуатационной работы и выделяется набор исходных данных;
- набор данных необходимо разделить на независимые и зависимые таким образом, чтобы с одной стороны – сократить количество базовых показателей и повторных расчетов, и с другой стороны – выделить значимые и осмысленные величины.

Исходя из этого, дальнейшие расчеты производятся отдельно для каждого объекта – дирекция или дорога, а полученные результаты суммируются для получения итоговой оценки.

На рисунке 2 приведена схема формирования результатов расчета экономической оценки. Расчеты выполняются в программном продукте ИС «ЭкОПЭР», разработанном в НИЛ «Экономика транспорта» СГУПС [2] Базовые показатели являются общими для всех объектов, а затраты за период – индивидуальны для каждого объекта.

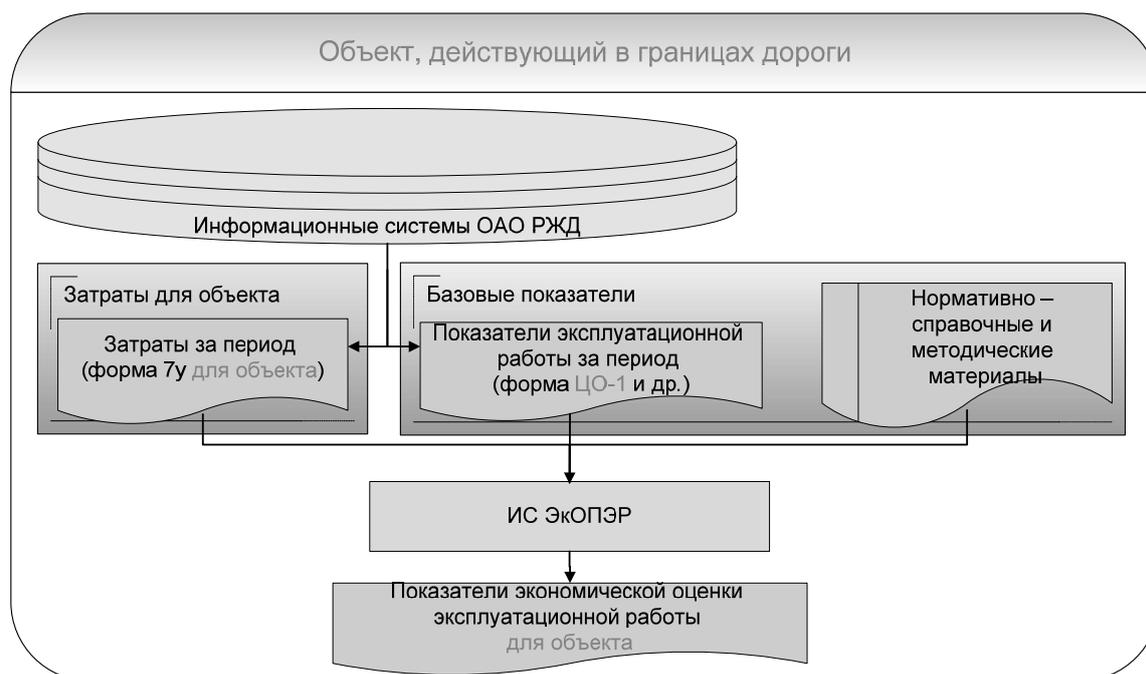


Рисунок 2 – Общая схема расчета показателей

Результаты, полученные для каждого объекта и итоговые, сохраняются в базе данных и используются для генерации выходных форм (рисунок 3) с учетом наименования объекта и данных о периоде.

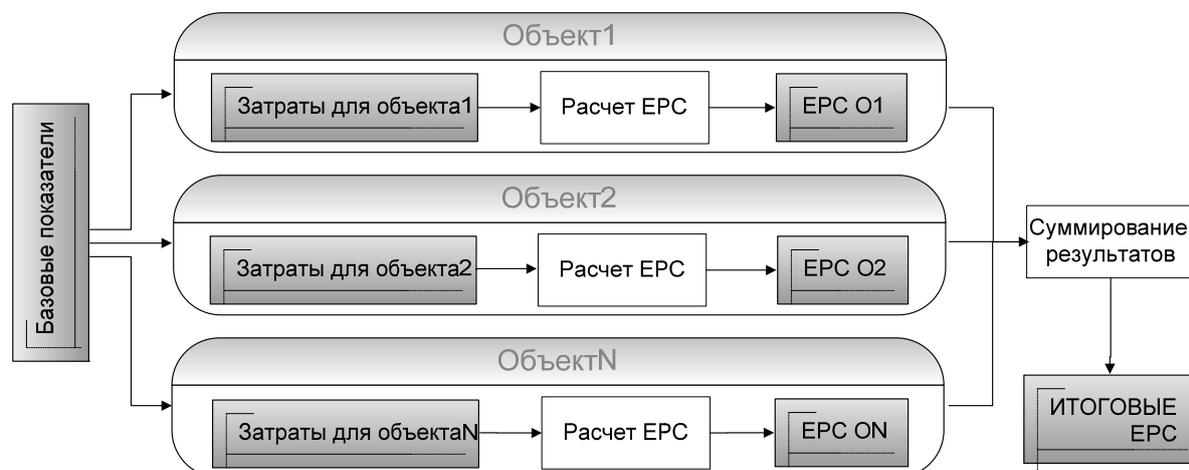


Рисунок 3 – Порядок расчета единичных расходных ставок

Предлагаемая модель расчета учитывает наличие индивидуального и общего информационного пространства для каждого объекта и позволяет получить результаты, как для

отдельного подразделения, так и в рамках целого полигона путем агрегации стоимостных показателей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Методика и организация расчета укрупненных и единичных расходных ставок в условиях структурной реформы ОАО «РЖД». -М., 2008. -57 с.

2 Свидетельство об отраслевой регистрации разработки №11765 от 24.11.2008 ИАС «Экономическая оценка показателей эксплуатационной работы дорог и отделений».

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** функциональные дирекции, алгоритм расчета, дезагрегация показателей, информационное поле

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Андранович Тамара Васильевна, соискатель ГОУ ВПО «СГУПС»  
Северова Марина Олеговна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»

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

## **ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ДЛЯ РАСЧЕТА УДЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей  
сообщения»

**Т.В. Андранович**

**APPROACHES TO REFORMING AN INFORMATION BASE FOR CALCULATION OF SPECIFIC EXPENSES OF THE  
ENTERPRISES OF A RAILWAY TRANSPORT**  
«Siberian state transport university»  
T.V. Andranovich

Reliability of received results and efficiency of acceptance of administrative decisions depends on qualitative preparation of the initial information for calculating indexes of the cost price of transportations.

*Keywords: information base, expenses, principals of grouping, algorithm, indexes, expert, calculation*

Достоверность полученных результатов и эффективность принятия управленческих решений зависит от качественной подготовки исходной информации для расчета показателей себестоимости перевозок.

Анализ удельных расходов является основой для принятия эффективных управленческих решений. Одним из важнейших вопросов, возникающих при расчете себестоимости, является достоверность полученных результатов. На железнодорожном транспорте рассчитывается себестоимость перевозок, а также удельные расходы, приходящиеся на единицу эксплуатационной работы (величины вагоно-километров, поезд-километров, локомотиво-километров и др.). Определение показателей экономической оценки эксплуатационной работы [1] достаточно трудоемкий процесс. В большей степени это касается подготовки исходной информации.

Как уже говорилось выше, одним из важнейших условий достоверности полученных результатов, является качественная подготовка исходной информации, которая является процессом трудоемким и требующим присутствия эксперта на всех этапах сбора информации [2]. Под экспертом мы будем понимать человека, который готовит информационную базу для расчета экономической оценки эксплуатационной работы, выполняет расчеты с учетом последних корректировок, оценивает полученные результаты и дает рекомендации по их использованию в оперативной экономической работе.

Автором предпринята попытка классифицировать исходную информацию, что позволит существенно снизить объем показателей, требующих логической проверки эксперта.

Исходные данные для расчетов экономической оценки можно классифицировать по нескольким признакам и уровням (рисунок 1).

На первом уровне исходные данные могут классифицироваться по источникам зарождения. Во-первых, это нормативно-справочная информация, которая включает в себя методику расчета, принятую на сегодняшний момент, результаты исследований по данному вопросу в транспортно-экономической литературе, а также документы и нормативные акты

министерств экономики и финансов, содержащие макроэкономические параметры. Во-вторых – это собственно значения различных показателей, содержащихся в статистической отчетности компании. В-третьих – обязательное наличие эксперта для оценки и уточнения действующей методики, проверки актуальности отчетных форм и логики используемой информации.

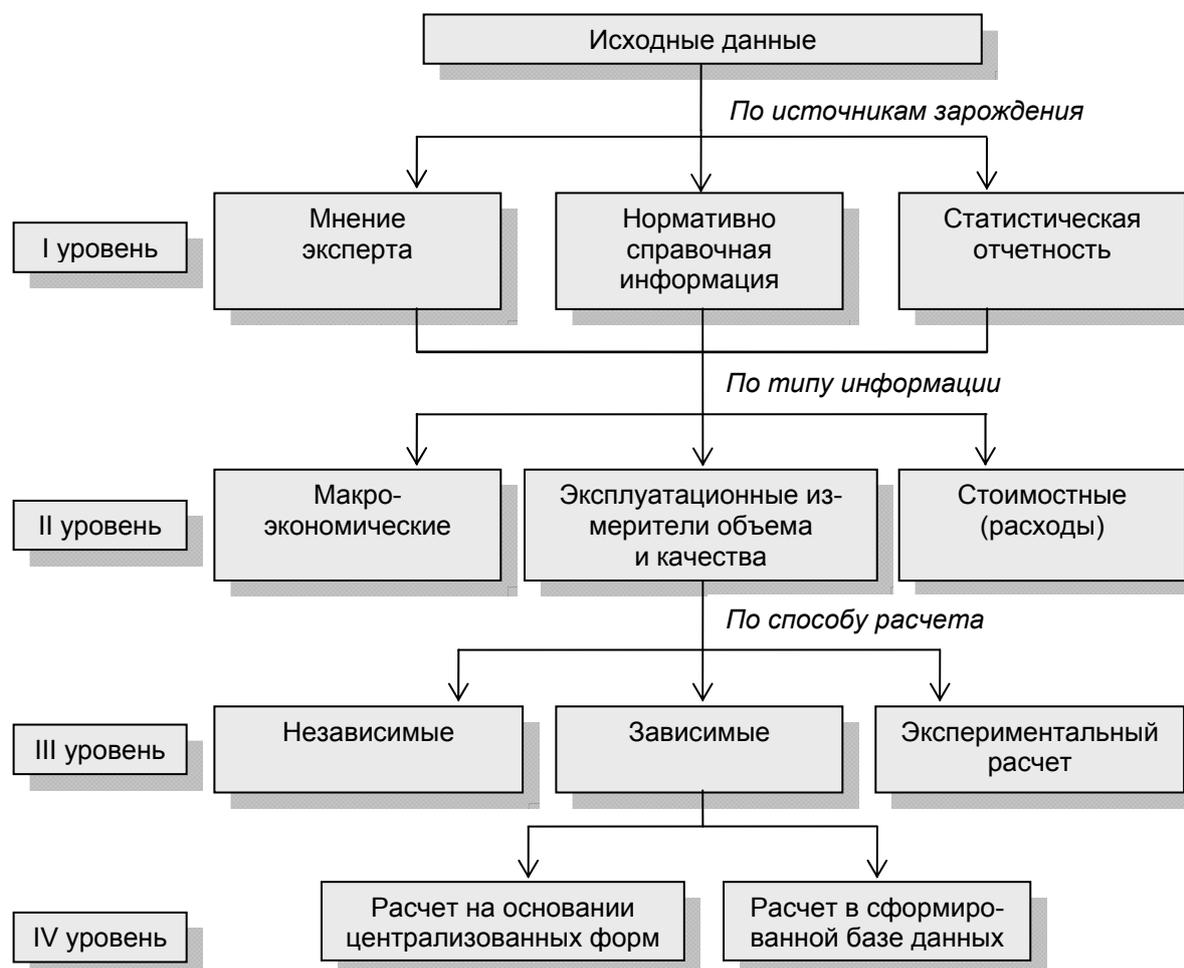


Рисунок 1 – Классификация исходной информации

На втором уровне группировки исходную информацию необходимо классифицировать по типу – выделяя:

- стоимостные величины – прежде всего данные о затратах или коэффициенты учитывающие соотношения затрат;
- показатели объема и качества работы – самая многочисленная группа, содержащая пробеги подвижного состава, время их работы, а также показатели качества их использования – скорости движения, нагрузки, среднесуточные пробеги и т.д.;
- макроэкономические параметры – связанные с применяемым законодательством (величина отчислений на социальные нужды), продолжительностью рассматриваемого периода (полугодие, год, квартал), возможностью индексации расходных ставок (прогнозные коэффициенты удорожания на будущий период).

Третий уровень группировки применяется только для показателей второй группы, которая формируется из централизованных отчетных форм. Однако некоторые из них сразу попадают в базу данных при импортировании из автоматизированных централизованных форм различных информационных систем, и мы можем назвать их *независимыми*, другие рассчитываются при импорте – *зависимые*, третьи требуют дополнительных расчетов на основе выборочных данных по отдельным подразделениям – что мы называем *экспериментальный расчет*, при этом необходимо снова наличие эксперта, который может оценить значения полученных показателей. Показатели третьей группы подлежат ручному вводу и содержат справочную информацию из различных подразделений (экономической службы, топливно-энергетического центра и др.).

Последний четвертый уровень группировки применим только для зависимых показателей, которые рассчитываются либо при импортировании исходных данных либо на основании уже сформированной базы данных.

Укрупнено исходные данные для расчета могут быть получены из источников, которые можно разбить на три группы:

1 Выходные формы централизованной отчетности, получаемые из информационных систем ОАО РЖД,

2 Нормативно-справочная документация,

3 Значения показателей, полученные в результате экспертной оценки.

Наиболее многочисленной и динамичной (меняющейся в зависимости от обследуемых периода и объекта) является первая группа показателей. Ее обработка (консолидация и выборка) может выполняться вручную или программным путем. Вторая и третья группа составляют заметно меньшую долю в общем числе, реже меняются и чаще формируются вручную.

После обработки исходные данные размещаются в набор независимых базовых показателей. Дополнительно к независимым рассчитываются зависимые показатели, рассчитываемые на базе первичных, которые также сохраняются для их дальнейшего использования.

Например, показатели «Локомотиво-километры в грузовом движении» по видам тяги считаются как независимые, а тот же показатель для всех видов тяги (он тоже необходим для дальнейших расчетов) вычисляется путем их суммирования (рисунок 2).

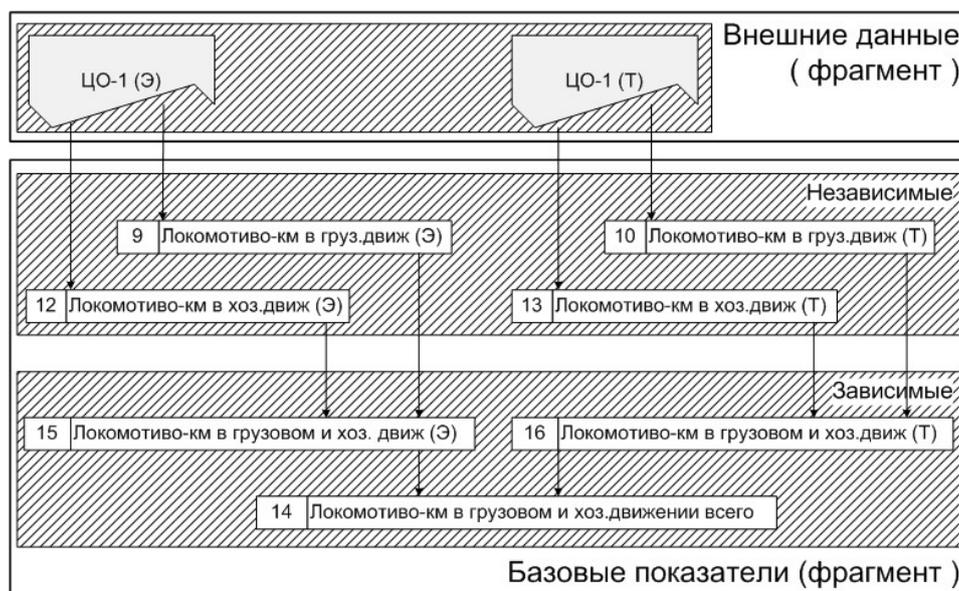


Рисунок 2 – Формирование показателей «Локомотиво-километры»

В данном случае для получения зависимых показателей используется простейшая операция – агрегация (суммирование). В других случаях, особенно при расчете качественных показателей, используются, при необходимости, более сложные алгоритмы.

Предложенная классификация исходных данных и автоматизация подготовки информационной базы позволит существенно повысить точность и достоверность расчетов, а также сократить объем информации, нуждающейся в логической проверке эксперта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Методика и организация расчета укрупненных и единичных расходных ставок в условиях структурной реформы ОАО «РЖД». -М., 2008. -57 с.

2 Архитектурные подходы к консолидации. Ч.1. Классификация существующих подходов. Февраль 2005 г. [Электронный ресурс]: (докл. TDW1): подгот. по материалам зарубеж. сайтов / пер. Intersoft Lab. -Режим доступа: <http://www.iso.ru/journal/articles/368.html>.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** информационная база, расходы, принципы группировки, алгоритм, показатели, эксперт, расчет

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Андронович Тамара Васильевна, соискатель ГОУ ВПО «СГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ МОБИЛЬНОГО БЮДЖЕТА ДЛЯ ХОЗЯЙСТВ ИНФРАСТРУКТУРЫ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

М.М. Рассказова, Е.А. Сурикова

METHODOLOGICAL APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF MOBILE BUDGET FOR INFRASTRUCTURE ENTERPRISES  
«Siberian state transport university»  
M.M. Rasskazova, E.A. Surikova

Transportation costs management is the most significant problem that can be solved by the method of mobile budgeting.

Keywords: costs, mobile budget, response rate

Управление транспортными затратами – важнейшая экономическая задача, которую можно решать, в том числе и методами мобильного бюджетирования.

В настоящее время продолжается формирование вертикально-интегрированной системы управления ОАО «РЖД», определяемое потребностями повышения эффективности производственной деятельности и управления затратами. В результате реформирования создан блок управления бизнесом железнодорожных перевозок ОАО «РЖД» организационно обособленная вертикаль управления в виде Дирекции инфраструктуры.

В условиях дальнейшего развития реформы управления отраслью, разделения видов собственности и на этой базе выделения расходов по видам деятельности, развития информационно-формационной базы формирования затрат особую важность приобретает проблема разработки методических подходов и рекомендаций по экономическому обоснованию расходов железнодорожных предприятий. Современная система управления затратами ОАО «РЖД» построена, в том числе, на принципах мобильного бюджетирования.

Мобильный бюджет обеспечивает возможность расчета размера статей затрат для разных уровней деловой активности в диапазоне возможных значений и определения отклонений бюджетных данных от фактических, вызванных изменением объема работы по сравнению с первоначально прогнозируемым. При составлении мобильного бюджета базисом обычно выступает уровень деловой активности, объем работ, или объем выпуска продукции. Однако, следует заметить, что это возможно в случае, когда объемный показатель достаточно определен и по существу является единственным показателем, характеризующим объем работы предприятия. Если в рамках одного бюджета планируется выпуск, реализация нескольких видов продукции, услуг или показатели просто разноплановы, разработка мобильного бюджета требует несколько иного подхода [2].

Составление мобильного бюджета требует анализа изменения расходов в соответствии с изменением объема работы

$$\Delta E' = E_1 - E_0 \frac{Q_1}{Q_0},$$

где  $E_0$  – плановые расходы, млн. руб.;

$E_1$  – фактические расходы, млн. руб.;

$Q_0$  – объем работы плановый;

$Q_1$  – объем работы фактический.

В структуре затрат Дирекции инфраструктуры более 70% занимают затраты хозяйства автоматики и телемеханики, хозяйства пути, хозяйства электрификации и электроснабжения. Автором были рассмотрены расходы хозяйств автоматики и телемеханики, электрификации и электроснабжения, хозяйства пути, в связи с тем, что вопрос выбора измерителя объема работы, именно в этих хозяйствах, является наиболее актуальным.

Было рассмотрено наличие связи между расходами по элементам затрат и грузооборотом, при достаточной корреляции между расходами и объемом работы определялась аппроксимация, на основании которой рассчитывался коэффициент реагирования.

Использование показателя грузооборот брутто для построения мобильных бюджетов возможно только там, где переменные затраты изменяются пропорционально грузообороту. При этом, разные элементы переменных затрат необязательно изменяются пропорциональ-

но одному и тому же измерителю уровня деловой активности. Поэтому, была исследована зависимость переменных затрат (рисунок) хозяйств инфраструктуры Западно-Сибирской железной дороги от различных показателей объема работы (поездо-километров, вагоно-километров, технических единиц), то есть была предложена множественная база формирования гибких бюджетов (таблица) [1].

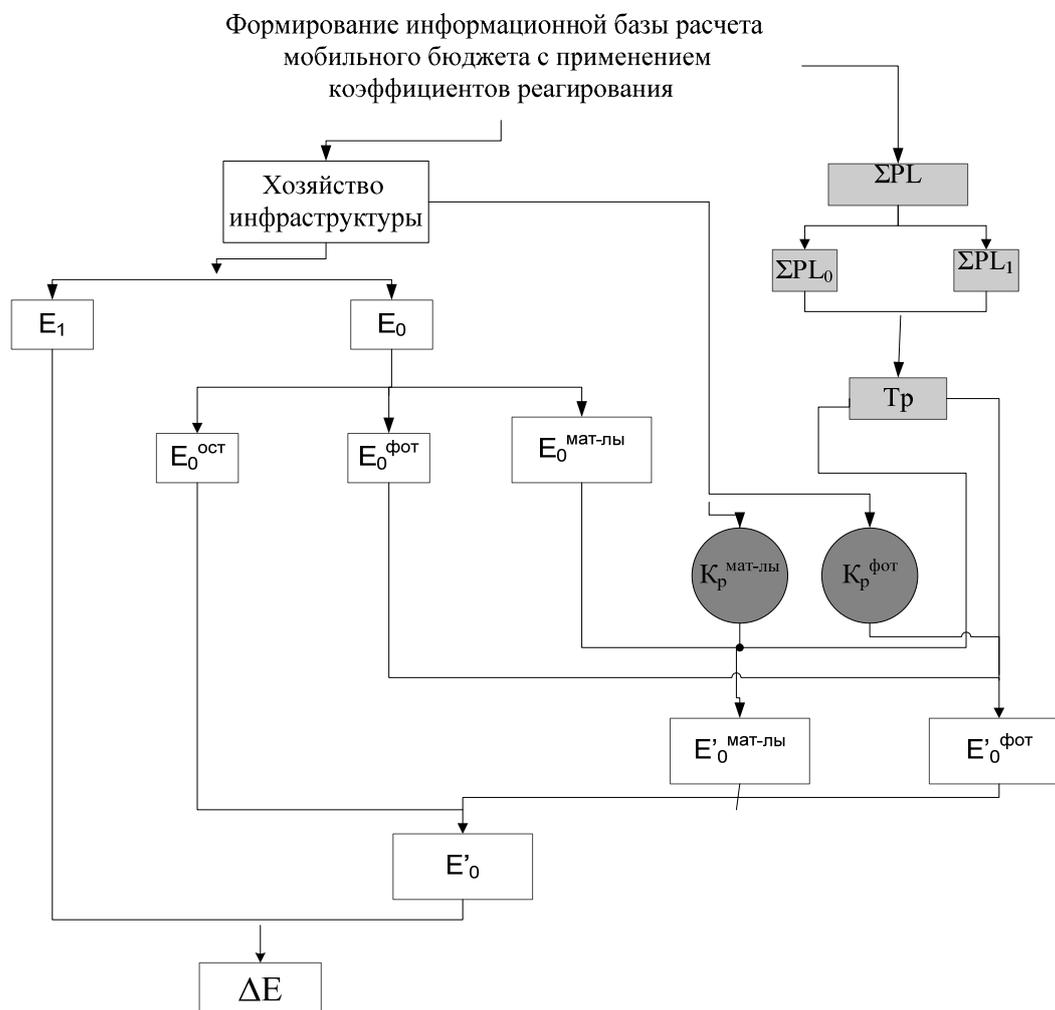


Рисунок – Модель мобильного бюджета с применением коэффициентов реагирования

Таблица – Структурирование расчетов мобильного бюджета с применением коэффициентов реагирования

Показатель	Условные обозначения	Алгоритм расчета
Грузооборот брутто, запланированный, млн. ткм брутто	$\sum PL_0$	Данные отчетности ЦО-1
Грузооборот брутто, фактический, млн. ткм брутто	$\sum PL_1$	Данные отчетности ЦО-1
Коэффициент выполнения плана по грузообороту	$T_p$	$T_p = \frac{\sum PL_1}{\sum PL_0}$
Плановые эксплуатационные расходы хозяйства инфраструктуры, млн. рублей в том числе:	$E_0$	Бюджет затрат предприятия
-фонд оплаты труда*	$E_0^{фот}$	Бюджет затрат предприятия
-материальные затраты**	$E_0^{мат}$	Бюджет затрат предприятия
-остальные	$E_0^{ост}$	$E_0^{ост} = E_0 - E_0^{фот} - E_0^{мат}$
Фактические эксплуатационные расходы хозяйства инфраструктуры, млн. руб.	$E_1$	Данные отчетности 7у
Коэффициент реагирования для фонда оплаты труда	$K^{фот}$	$K^{фот} = \frac{T_{пр}^{3-т}}{T_{пр}^{объема работ}}$

*Продолжение таблицы*

Показатель	Условные обозначения	Алгоритм расчета
Коэффициент реагирования для затрат на материалы	$K^{mat}$	$K^{mat} = \frac{T_{пр}^{mat}}{T_{объема работ_{пр}}}$
Величина скорректированных расходов по оплате труда хозяйства инфраструктуры от объема работы, млн. руб.	$E^{фот}$	$E^{фот} = E_0^{фот} + [E_0^{фот} (T_p - 1) K^{фот}]$
Величина скорректированных расходов по материалам хозяйства инфраструктуры от объема работы, млн. руб.	$E_0^{mat'}$	$E_0^{mat'} = E_0^{mat} + [E_0^{mat'} (T_p - 1) K^{mat}]$
Мобильный бюджет расходов с применением коэффициентов реагирования, млн. руб.	$E'_0$	$E'_0 = E_0^{фот'} + E_0^{mat'} + E_0^{ост}$
Отклонение фиксированного бюджета затрат от мобильного бюджета, млн. руб.	$\Delta E$	$\Delta E = E_1 - E_0$

\*-например, в хозяйстве электрификации и электроснабжения фонд оплаты труда изменяется в зависимости от показателя «технические единицы», а в хозяйстве пути от « грузооборота брутто»

\*\*-в хозяйстве электрификации и электроснабжения затраты на материалы зависят от показателя «локомотиво-километров при электровозной тяге», в хозяйстве автоматики и телемеханики от «локомотиво-километров линейные».

Мобильный бюджет приспособлен к меняющемуся объему производства, его можно использовать как в предплановом (для целей планирования) так и в послеплановом периодах (для аналитических целей). При планировании он помогает выбрать оптимальный объем продаж, при анализе – оценить фактические результаты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУТЫ

- 1 Каверина, О.Д. Управленческий учет: системы, методы, процедуры /О.Д. Каверина. - М.: Финансы и статистика, 2003. -352 с.
- 2 Волкова, О.Н. Бюджетирование и финансовый контроль в коммерческих организациях /О.Н. Волкова. -М.: Финансы и статистика, 2005. -272 с.: ил.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *затраты, мобильный бюджет, коэффициент реагирования*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Рассказова Маргарита Михайловна, преподаватель ГОУ ВПО «СГУПС»*  
*Сурикова Елена Александровна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»*

## **К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМИЗАЦИИ РАСХОДОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВАГОННЫХ ДЕПО**

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

**А.А. Прудников**

**ISSUE OF COSTS OPTIMIZATION FOR RAILWAY CAR ENTERPRISES**  
 «Siberian state transport university»  
 A.A. Prudnikov

Costs optimization of the railway car enterprises increases the overall performance of Open Joint-Stock Company «Russian Railways», encourages its financial stability and competitiveness.

*Keywords: costs, tariff, cost of sales, repair, labour and material costs, efficiency, optimization*

Оптимизация расходов эксплуатационных предприятий повышает эффективность работы ОАО «РЖД», способствует его финансовой устойчивости и конкурентоспособности.

Компания ОАО «РЖД» и его филиалы находятся сегодня в процессе перехода к новому качеству, обусловленному как внутренними потребностями в изменениях, так и внешними условиями [1].

Комплексная оптимизация всех бизнес-процессов, совершенствование структуры

управления, укрепление корпоративной культуры, и как следствие значительное повышение качества оказываемых дорожной службой услуг приведет к повышению удовлетворенности потребителей услуг и продукции ОАО «РЖД». Данное целевое состояние в полной мере отражено в Миссии Компании – основной цели существования любой организации. Для удовлетворения потребностей компании необходимо постоянно совершенствовать и контролировать систему.

Одной из приоритетных задач компании является сокращение расходов на эксплуатацию и текущий ремонт (ТР) вагонов. ТР производится в пунктах технического осмотра (ПТО), подготовки вагонов (МППВ), на механизированных путях, в текущем отцепочном ремонте (ТОР). Также существуют специализированные пути, которые используются для устранения неисправностей на вагонах требующих отцепки, но с незначительной, по сравнению с ТОР, трудоемкостью работ. В периоды максимальной загрузки участков ТОР на специализированные пути, техническая оснащенность которых позволяет выполнять ТР вагонов, могут передавать вагоны с большими материальными и трудовыми затратами.

Значительная часть вагонов, ремонтируемых на специализированных путях, является собственностью ОАО «ПГК» и других акционерных компаний. Но часто возникает такая ситуация, что на специализированных путях выполняются дополнительные работы, которые не включены в тарифную составляющую. Это одна из проблем которую необходимо решать оптимизируя затраты на перевозку грузов, так как расходы, связанные с текущим отцепочным ремонтом, должны компенсироваться за счет доходов от прочих видов деятельности, а не за счет тарифа. Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать сложившуюся ситуацию;
- выявить основные проблемы организационного и технологического характера;
- сформировать предложения по решению проблем.

Предметом данного исследования является ремонт вагонов. Объектом исследования являются специализированные пути станции Инская.

Эту проблему мы попытались решить, применив метод SWOT-анализа. В SWOT-анализ входит анализ сильных и слабых сторон участников рыночных отношений, поиск новых возможностей улучшения их взаимодействия с деловой средой, предсказание угрозы их будущему. Он оперирует с общими, отраслевыми и внутренними факторами деловой среды и показывает, какие из них подлежат использованию конкретным предприятием, а какие представляют для нее потенциальную угрозу. То есть, применяя метод SWOT, удастся установить линии связи между силой и слабостью, которые присущи предприятию, и внешними угрозами и возможностями. Идея SWOT-анализа заключается в следующем:

- а) принятие усилий для превращения слабостей в силу, а угроз в возможности;
- б) развитие сильных сторон предприятия в соответствии с ее ограниченными возможностями.

SWOT-анализ является универсальным аналитическим инструментом. Области его применения могут быть:

- стратегический анализ;
- общий и целевой тактический анализ;
- функциональный анализ и т.п. [2].

Применив данную методику к нашему объекту исследования и учтя основные влияющие факторы, получим информацию необходимую для дальнейшего анализа. Результаты SWOT-анализа отражены на рисунке.

Курсивом выделен критерий, который на данный момент является наиболее уязвимым элементом всей системы. Именно, такой подэлемент менеджмента, как работа с собственниками подвижного состава требует большего внимания, так как он может привести к изменению влияния других элементов системы (например, материалов) на конечный результат не в пользу вагонной службы. На основании выше изложенного следует выявить воздействие слабых сторон на финансовое состояние. Для решения этого вопроса проведены измерения технических и экономических характеристик технологического процесса на специализированных путях станции Инская.

На исследуемом полигоне сотрудниками НИЛ «Экономика транспорта» в течение 10 рабочих дней выполнялись фотохронометражные наблюдения и аудит материальных затрат, которые позволили установить перечень операций выполняемых на вагонах, а также затраты материальных и трудовых ресурсов, связанные с каждой операцией. За период наблюдений производилось в среднем две подачи вагонов на специализированные пути в

смену, каждая из которых состояла из 23 единиц подвижного состава. На протяжении всего периода исследований были проведены измерения на 417 вагонах, из них 159 вагонов принадлежат сторонним собственникам, что составляет 38%. При этом зафиксировано 85 различных операций различной трудоемкости и материалоемкости. Данное количество операций является не полным перечнем всей номенклатуры работ.

<p align="center"><b>Сильные стороны (S)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Стабильность функционирования ж.д. транспорта</li> <li>2 Рост доли объема перевозок на рынке грузовых перевозок</li> <li>3 Проверенные и экономически обоснованные нормы расхода материалов</li> <li>4 Проверенные и экономически обоснованные нормы расхода трудовых ресурсов</li> <li>5 Профессионально подготовленный технический персонал</li> </ol>	<p align="center"><b>Возможности (O)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Повышение конкурентоспособности</li> <li>2 Применение прорывных технологий</li> <li>3 Передача непрофильных видов работ в аутсорсинговые компании</li> <li>4 Снижение накладных расходов</li> </ol>
<p align="center"><b>Слабые стороны (W)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Недостаточная мотивация персонала</li> <li>2 Высокий удельный вес тяжелого и низкоквалифицированно-го труда на ремонте подвижного состава</li> <li>3 <i>Отсутствие составления договоров с собственниками подвижного состава на дополнительную работу по подготовке вагонов под погрузку</i></li> </ol>	<p align="center"><b>Угрозы (T)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Форс мажорные изменения структуры и объемов перевозок</li> </ol>

*Рисунок 1 – Укрупненный SWOT анализ деятельности эксплуатационного вагонного депо ст. Инская*

Полученные результаты хронометражных наблюдений позволяют сделать следующие выводы: 58% работ производимых на специализированных путях являются дополнительными и требуют составления договоров с собственниками подвижного состава. Так же необходимо отметить вагоны, на которых встречаются только незначительные виды ремонта (например, смена чеки) и их, возможно, производить на ПТО, не расформировывая поезда. Особого внимания заслуживает 121 вагон, где ремонтные работы не производились, выполнялся только визуальный осмотр мастера.

Данный факт говорит о некачественном осмотре вагонов перед отцепкой и отправлением на специализированные пути. Это приводит к увеличению расходов вагонного депо ст. Инская, так как увеличиваются затраты на подачу и уборку вагонов, на простой этих вагонов, а так же заработную плату смены принимающую эти вагоны (эта статья расходов является из-за сдельной оплаты труда для работников смены).

В результате анализа были рассчитаны следующие показатели:

– Загруженность смены составляет 27,9% в расчете на 3 человек (бригадир, слесарь, сварщик), но в некоторых сменах 2 слесаря, то есть состав смены – 4 работника и соответственно этот показатель снижается до 20,9%.

– Нормативная трудоемкость ремонта вагона – 0,86 чел.-ч, фактическая трудоемкость ремонта вагона – 0,24 чел.-ч, отклонение факта от нормы составляет 28%.

– Повторяемость выполнения работы:

в расчете на вагон – 81% работ имеет случайный характер;

в остальных 19% повторяемость от 0,01 до 0,4.

При ремонте вагонов собственников ст. Инская несет трудовые и материальные затраты, которые не предъявляются их владельцам. При этом заключение договоров на выполнение дополнительных работ не ведется. Это приводит к увеличению эксплуатационных расходов депо, которые финансируются из инфраструктурной составляющей тарифа. Эти затраты должны возмещаться за счет доходов полученных от прочих видов деятельности. Например, операция «заварить стойку шкворневую», входящая в регламент подготовки вагонов под погрузку, выполнялась 22 раза за период наблюдения, а затраты на неё составили 93,13 рубля. В итоге депо только на прямых затратах одной операции может сократить свои эксплуатационные расходы на 2070,88 руб. Пролонгируя эту ситуацию на год, получим экономию в размере 34 357,45 руб. Хотелось бы отметить, что для примера выбрана операция с довольно незначительной себестоимостью и средней повторяемостью.

В условиях перехода к рыночным отношениям роль рационализации расходов, как в ва-

гонном хозяйстве, так и в целом на железнодорожном транспорте существенно возрастает. С одной стороны от правильного распределения ремонтных работ в депо зависит эффективность работы предприятия, что в условиях рынка напрямую связано с его жизнеспособностью, а с другой стороны, сам рынок услуг предоставляемых ремонтными депо должен минимизировать себестоимости ремонтов увеличивая этим свою клиентскую базу, это максимизирует прибыль компании. Этим самым поддерживаются поставленные цели и задачи ОАО «РЖД».

Для оптимизации расходов на эксплуатацию и текущий ремонт вагонов предложены решения данной проблемы путем проведения мероприятий:

- По оптимизации подачи вагонов на специализированные пути ст. Инская и улучшения качества осмотра вагонов;
- По заключению договоров с собственниками на выполняемые ремонтные работы, не включенные в тариф;
- По предоставлению собственникам счетов за выполненные ремонты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Якунин, В.И. На инфраструктуре нельзя экономить, если мы хотим создавать точки экономического роста / В.И. Якунин // Гудок. -2010. -22 июля (№127).

2 Беляев, В.И. Маркетинг: основы теории и практики: учебник / В.И. Беляев. -2-е изд. - М.: КНОРУС, 2007. -672 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *расходы, тариф, себестоимость, ремонт, трудовые и материальные затраты, эффективность, оптимизация*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Прудников Алексей Александрович, преподаватель ГОУ ВПО «СГУПС»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»*

## **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ**

ФГОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения»

**А.П. Буйносов, В.А. Тихонов**

**DEVELOPMENT OF THE AUTOMATED WORKPLACE MONITORING OF PARAMETERS OF WHEEL PAIRS LOCOMOTIVES**  
«Ural state transport university»  
A.P. Buinosov, V.A. Tikhonov

In article it is described the developed automated workplace of the technician on gaugings of monitoring of condition of bandages of wheel pairs traction rolling stock on the basis of the developed portable electronic devices of measuring instruments and automation devices.

*Keywords: locomotive, wheel steams, bandages, the automated workplace, monitoring*

Описано разработанное автоматизированное рабочее место техника по замерам мониторинга состояния бандажей колесных пар тягового подвижного состава на основе разработанных переносных электронных приборов ИД и КИП.

Стремление поднять массу поезда до предельных (по силе тяги и по сцеплению) значений порождает ряд новых проблем с точки зрения взаимодействия колеса и рельса. Среди них – усиленный износ поверхности катания колес и рельсов, угон пути, засорение балластного слоя песком, возникновение дополнительного воздействия состава на путь, вызываемого изменением продольных сил в поезде.

Взаимодействие подвижного состава и пути – основополагающий физический процесс при движении поездов по железным дорогам [1]. Именно он во многом определяет такие важнейшие показатели, как нагрузка на ось, статическая нагрузка вагонов, масса и скорость движения составов, а также основу основ – безопасность движения поездов.

Условия взаимодействия в системе «колесо–рельс» существенно влияют на сроки службы и организацию содержания основных устройств подвижного состава и пути, на эксплуатационные затраты железных дорог.

В условиях нехватки резерва пропускной способности возникают повышенные требования к обеспечению надежности и безопасности движения поездов растут. Для их удовлетворения необходим переход к системе ремонта подвижного состава по фактическому состоянию [2, 3].

В настоящее время на сети дорог принята планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта: независимо от фактического состояния оборудования через заранее определенные промежутки времени производится его частичная или полная разборка для профилактического осмотра, технического обслуживания или ремонта. Планируемое время жизни механизма до его переборки базируется на предыдущем опыте эксплуатации наиболее подверженных износу узлов.

Планово-предупредительные ремонтные работы, безусловно, уменьшают вероятность аварии, но не предохраняет узел или изделие в целом от неожиданных выходов из строя в межремонтный период.

Таким образом, назрела необходимость в качественно новом подходе к этой проблеме. Ее решение во многом зависит от эффективности и своевременного контроля технического состояния деталей и узлов, прогнозирования его изменения со временем наработки, а также обеспечения безаварийности в процессе эксплуатации.

Наиболее эффективен переход от эксплуатации по заранее назначенному ресурсу к эксплуатации и техническому обслуживанию по данным безразборного контроля самых важных параметров, определяющих действительное техническое состояние узлов.

Для этого необходимо техническое диагностирование на основе внедрения автоматизированных систем.

Практически все автоматизированные системы железнодорожного транспорта входят в состав комплексной автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом (АСУЖТ) [4].

В соответствии с общим требованием, АСУЖТ является человеко-машинной системой, обеспечивающей автоматизированный сбор, обработку и передачу информации, необходимой для четкой организации, оптимизации и оперативного управления железнодорожным транспортом [5].

В настоящее время на сети железных дорог России внедряется комплекс многоцелевых информационных технологий, обеспечивающих мониторинг технического состояния ходовых частей подвижного состава.

Специалистами давно доказана необходимость отслеживания в эксплуатации нагруженности ходовых частей подвижного состава, прогнозирования развития неисправностей в привязке к местам с повышенной опасностью для движения [4, 5]. Для создания эффективной системы мониторинга нужны: достоверная база данных о профиле, конструкции пути, его техническом обслуживании; системы сбора информации о реальной нагруженности участков пути (с использованием баз данных локомотивных депо по условиям пропуска и формированию грузовых поездов, тяговой нагруженности локомотивов, состоянию ходовых частей). Предстоит разработать: модели прогнозирования расстройств пути на конкретных участках; системы прогноза потребности в работах по ремонту пути с учетом ограниченности ресурсов; способы анализа надежности машин по ремонту пути и их использованию.

Особую базу составят результаты мониторинга состояния колесных пар локомотивов с применением систем обратной связи в масштабе реального времени.

На кафедре «Электрическая тяга» УрГУПС разработана компьютерная программа «АРМ «Депо», позволяющая хранить, систематизировать и обрабатывать данные, полученные в результате замеров геометрических параметров колесных пар электровозов и тепловозов.

Данная разработка – это часть системы контроля колесных пар, созданной автором в рамках отраслевой комплексной автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом. Программа позволяет создавать базу данных электронных паспортов колесных пар индивидуально для каждого локомотива и, в отличие от аналогов, определять не только степень износа, но и прогнозировать изменение геометрических параметров колесных пар в зависимости от наработки, отслеживать динамику износа бандажей. Благодаря программам отображения и просмотра, результаты измерения представляются в виде таблиц замеров с привязкой к номеру и типу электровоза (тепловоза), с указанием даты и времени измерения; также в графическом виде представлены формы гребня и поверхности катания (в сравнении с эталоном). В информационной базе осуществляется прогнозирование

дальнейшего изменения износа колес и формирование протоколов, стратегические прогнозы по всему парку локомотивов.

Эта программа удобна для работы с базой данных электронных паспортов колесных пар, она максимально автоматизирует и ускоряет работу техотдела. Информация в базу данных поступает по результатам ручных (шаблонных) методов измерений и с автоматизированных систем обмера колес, а также с переносных приборов КИП и ИД, относительная погрешность которых не превышает 2–5 % [2, 3].

Окно «Замеры локомотива» представлено на рисунке 1.

Новый замер | Удалить замер | Обновить | Закрывать

Серия: ВЛ11 | Номер: 340А 340Б 341А | Редактирование данных

Замеры локомотива:

Дата	Пробег	Ср.износ г	Износ на 10т	Ср.прокат	Ср.бандаж	Обточка:причина
14.11.96	30	2,41	0,00	4,58	57,90	

Параметры колесных пар текущего замера:

Секция	Ось	ГребеньЛ	ГребеньП	Межбандаж	ПрокатЛ	ПрокатП	БандажЛ	БандажП	ДиамЛ	ДиамП
1	1	30,52	30,66	1438,65	1,35	0,65	58,82	45,49	1050,2	1050
1	2	31,15	31,35	1439	2,97	4,22	35,32	71,08	1050,4	1050
1	3	30,15	28,98	1440,74	7,12	6,64	50,64	78,93	1050,5	1050
1	4	32,36	28,65	1439,49	5,95	5,07	66,02	66,42	1050,6	1050
2	1	28,58	31,93	1440,61	6,72	7,23	70,91	52,56	1050,7	1050
2	2	28,76	32,64	1439,83	1,07	0,22	65,89	61,6	1050,0	1050
2	3	29,8	29,52	1440,76	6,61	7,96	74,41	41	1050,9	1050
2	4	28,96	32,79	1441,09	2,54	1,3	36,72	61,76	1050,7	1050
3	1	32,77	29,71	1440,43	7,25	7,61	43,25	50,01	1050,8	1050

Рисунок 1 – Окно «Замеры локомотива»

Журнал замеров состоит из двух связанных таблиц и панели выбора серии и номера локомотива. Верхняя таблица отображает все произведенные замеры выбранного локомотива по датам, нижняя таблица – замеренные данные (толщину гребня, прокат, толщину бандажа, межбандажное расстояние, диаметр колеса).

При добавлении записи в таблицу замеров по датам в таблице с замеренными данными автоматически появляется шаблон – список номеров осей и секций. При этом количество осей берется из справочника «Серии локомотивов», а число секций определяется по номеру локомотива.

На рисунке 2 представлено окно журнал запросов программы АРМ «Депо».

Для корректного обмена данных между АРМами приняты некоторые правила на формат названий серий, групп и видов ремонта. Названия серий локомотивов состоят из заглавных русских букв, дефиса и одной или нескольких цифр.

Номер локомотива должен иметь один из видов: 123 – локомотив под номером 123 (состоит из двух секций 123А и 123Б); 123А – локомотив под номером 123 из секции А.

Недопустимо название локомотива 123АБ. В этом случае следует использовать обозначение 123.

Название вида ремонта должно состоять из двух заглавных букв, дефиса и цифры. В программе используются следующие виды ремонтов: ТО-2, ТО-3, ТР-1, ТР-2, ТР-3, СР, КР (для ремонта ТР-1 принято, что при его прохождении обнуляется пробег локомотива.)

Графики, которые может строить программа АРМ «Депо»: количества обточек и перекаток по месяцам; среднего износа гребня по месяцам; динамики изменения параметров колеса.

Построение графика осуществляется через меню «Графики» – «Динамика изменения параметров», при этом в журнале замеров должен быть выбран необходимый локомотив. Позволяет наблюдать изменения следующих параметров: толщина гребня, толщина бандажа, прокат, диаметр колеса, межбандажное расстояние.

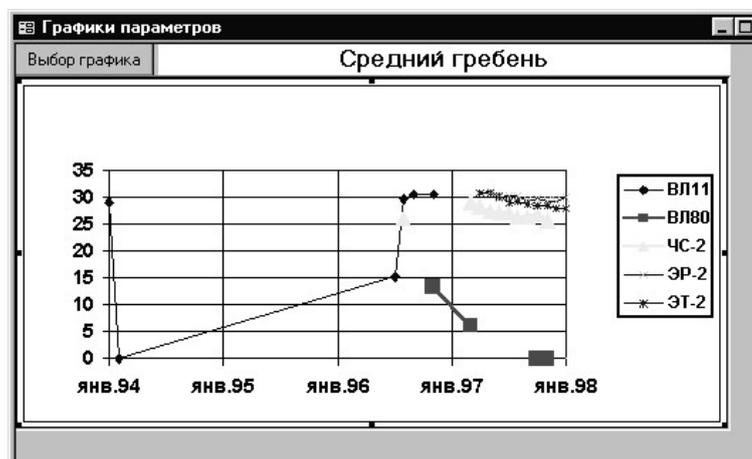


Рисунок 2 – Окно «Графики параметров»

Кроме этого, программный комплекс через устройство аварийного предупреждения о выходах контролируемых параметров колесных пар за пределы допуска подает соответствующие сигналы в подсистемы измерения, формирует базу текущих данных обследования колесных пар для последующего использования при обработке и прогнозирования их ресурса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Буйносов, А.П. Влияние условий эксплуатации на износ бандажей / А.П. Буйносов // Локомотив. -1995. -№1. -С. 33-34.

2 Буйносов, А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения: монография / А.П. Буйносов. -Изд-во УрГУПС, 2009. -224 с.

3 Буйносов, А.П. Система бесконтактного измерения бандажей / А.П. Буйносов, В.С. Наговицын // Локомотив. -1995. -№12. -С. 27-28.

4 Феоктистов, В.П. Конференция АСУ локомотивного хозяйства / В.П. Феоктистов, И.К. Лакин. -М.: ОВЦ МПС, 2001. -321 с.

5 Буйносов, А.П. Уральский характер (Свердловской дороге – 120 лет) / А.П. Буйносов, В.С. Наговицын, Г.С. Боярских // Локомотив. -1998. -№10. -С. 8-10.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** локомотив, колесные пары, бандажи, автоматизированное рабочее место, мониторинг

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Буйносов Александр Петрович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «УрГУПС»

Тихонов Виктор Артурович, аспирант ФГОУ ВПО «УрГУПС»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, ФГОУ ВПО «УрГУПС»

## РОЛЬ КОРПОРАТИВНОЙ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПЕРСОНАЛОМ КОМПАНИИ

ФГОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»

**С.В. Помахо, А.Ж. Смирнов, В.И. Меньшиков**

### ROLE CORPORATE CULTURE OF SAFETY IN STAFF MANAGEMENT

«Murmansk state technical university»

S.V. Pomaho, A.Ja. Smirnov, V.I. Menshikov

Corporate culture management, endowed with the property dichotomy, depending on the condition vertical produc-governmental relations, admits a unique choice of personnel management from the corporate management culture.

*Keywords: corporate culture, safe operation, «socially significant people», redundant system safety management*

Корпоративная культура управления, наделенная свойством дихотомии, в зависимости от состояния вертикальных производственных связей, допускает однозначный выбор управлений персоналом из корпоративной культуры управления.

Вводимые изменения при управлении персоналом систем безопасной эксплуатацией судов транспортных или рыболовных компаний (СУБ) обычно напрямую связаны со свойствами множества допустимых управлений, содержащихся в корпоративной культуре  $\Xi$  компании. Поэтому рассмотрим особенности формирования корпоративной культуры управления транспортной или рыболовной компании для чего примем, что в культуре  $\Xi = \{\xi_1 \dots \xi_n\}$  задана система свойств  $\Phi$  с алфавитом этих свойств  $N = \{A_1 \dots A_m\}$ . Пусть для каждого управления  $\xi_i \in \Xi$  и свойства  $A_j \in N$  известно – обладает управление  $\xi_i$  свойством  $A_j$  или нет. Тогда каждому свойству  $A_j$  можно поставить в соответствие некоторое подмножество  $\Phi(A_j) \subseteq \Xi$ , состоящее из всех управлений, обладающих данными свойствами, а каждому управлению  $\xi_i$  будет соответствовать подмножество  $g_j \subseteq N$ , состоящее из всех тех и только тех свойств, которыми должны обладать эти управления.

Пусть далее в процессе эксплуатации судов корпоративная культура управления персоналом компании должна быть откорректирована, причем так, чтобы из нее были исключены

действия персонала СУБ которым присуще свойство не профессионализма  $A_1$  и свойство депрессивности  $A_2$ . Тогда в корпоративной культуре управления персоналом  $\Xi = \{\xi_1 \dots \xi_n\}$  можно выделить систему свойств  $\Phi^*$ , с алфавитом, состоящим лишь из двух свойств  $N = \{A_1, A_2\}$ .

Действительно, при выраженном в СУБ компании свойстве  $A_1$  управляемый судовой персонал компании имеет все явные признаки его не профессионализма. Повысить эффективность реализации принятых решений на верхнем управленческом эшелоне возможно лишь за счет обучения персонала, его «правильного» подбора и «правильной» расстановки по рабочим местам на судах. В тоже время, ликвидировать свойство депрессивности (свойство  $A_2$ ) в производственной деятельности персонала СУБ судов компании возможно лишь за счет применения элементов культур наказания и побуждения, принятых к использованию компанией и не противоречащие национальному законодательству. Тогда в системе  $\Phi^*$  корпоративной культуры управления судовым персоналом компании  $\Xi = \{\xi_1 \dots \xi_n\}$  будут иметь место только четыре (события) свойства  $\{A_1\}, \{A_2\}, \{A_1 A_2\}, \{g_\emptyset\}$ , где  $\{g_\emptyset\}$  - пустое свойство, что и делает правомочным допущение о полноте свойств в этой системе.

Далее будем исходить из того, что качественный дефект в корпоративной культуре управления судовым персоналом транспортной или рыболовной компании при полноте системы  $\Phi^*$  на допустимом множестве управлений людским ресурсом  $\Xi = \{\xi_1 \dots \xi_n\}$  в точке со свойством  $A_1$  возможен тогда и только тогда, когда будут выполняться два следующих условия:

$$\Phi(A_1) \cap \Phi(A_2) \neq \emptyset; \quad (1)$$

$$\Phi(A_1) \cup \Phi(A_2) > \Xi. \quad (2)$$

Полученные соотношения показывают, что допустимые управления персоналом компании  $\xi_j \in \Xi = \{\xi_1 \dots \xi_n\}$  не должны носить явно случайный характер или исходить только из условия удовлетворения текущих потребностей СУБ. В тоже время эти соотношения подтверждают, что при саморегулирующемся и саморазвивающемся характере механизма функционирования вида  $I(R, \Xi)$ , который свойственен любой организационно-технической системе управления и который направлен на обеспечение устойчивости человеческого развития, зависит от множества внешних и внутренних факторов (1) и (2). Поэтому такая управленческая структура не может существовать без дополнительной стратегической системы деловых отношений, выработанных компанией и противостоящих действиям возможных негативных внешних и внутренних факторов. Следует заметить, что выражения (1) и (2) отражают предположение о вирусном характере депрессивности, способной проникать в любую структуру отношений присущих СУБ, как из внешней среды, так и генерироваться самой управленческой структурой и заражать этим вирусом своих субподрядчиков.

Наиболее перспективным направлением разработки стратегической системы деловых отношений является концепция «социально значимого человека», для которого межличностные отношения в трудовом коллективе, групповые этические нормы и общий социально-психологический климат важнее материальных стимулов и административных санкций. Концепция, преобразованная в систему норм поведения персонала СУБ, должна быть направлена на достижение общих целей и гармоничное согласование общих и личных интересов, причем дух, философия и энергия организации, в рамках такой концепции, способны играть, подчас даже более важную роль, чем технологические и экономические ресурсы.

В том случае, если транспортная или рыболовная компания строит корпоративную культуру управления судовым персоналом СУБ на основе концепции «социального человека» и ограничивает производственные отношения этическими нормами поведения, то свойство депрессивности  $A_2$  в конкретных вертикальных и горизонтальных связях системы управления безопасной эксплуатацией судов можно локализовать. При локализации свойства депрессивности  $A_2$  в пределах структуры СУБ корпоративная культура управления судовым персоналом компании  $\Xi = \{\xi_1 \dots \xi_n\}$  в точке  $A_1 \cap A_2$  способна изменить свои свойства на новые свойства, которые формально можно записать так:

$$\Phi(A_1) \cap \Phi(A_2) = \emptyset; \quad (3)$$

$$\Phi(A_1) \cup \Phi(A_2) = \Xi. \quad (4)$$

Выражения (3) и (4), определяют отношения между подсистемами  $\Phi(A_1)$ ,  $\Phi(A_2)$  и корпоративной культурой управления состоянием безопасной эксплуатации судов компании  $\Xi$  в рамках концепции «социального человека». Такие отношения могут существовать лишь при наличии определенной логической связи между свойствами  $A_1$  и  $A_2$ , присущими корпоративной культуре управления судовым персоналом компании  $\Xi$ . Логические связи, определяющие концепцию «социального человека» должны иметь вид

$$(A_1 \rightarrow \neg A_2) \wedge (\neg A_1 \rightarrow A_2), \quad (5)$$

где  $\neg A_1, \neg A_2$  – свойства, связанные с отсутствием выделенных выше свойств.

Таким образом, использование компанией в своей деятельности концепции «социального человека», уточненное отношением (5), и введение этой концепции в качестве основополагающего инструмента в культуру управления судовым персоналом поможет преобразовать и упорядочить эту культуру  $\Xi = \{\xi_1 \dots \xi_n\}$ , наделив ее свойством дихотомии. Корпоративная культура управления  $\Xi$ , наделенная этим свойством, в зависимости от наблюдаемого состояния вертикальных производственных связей, допускает однозначный выбор управлений персоналом из корпоративной культуры управления  $\Xi = \{\xi_1 \dots \xi_n\}$  как из множества допустимых управлений. Выбранное из  $\Xi = \{\xi_1 \dots \xi_n\}$ , управления  $\xi_i$ , в общем случае, реализуется как системное корректирующее (улучшающее) действие, причем целью этого действия является достижение наилучшего состояния безопасности судов компании.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** корпоративная культура, безопасность эксплуатации, «социально значимый человек», система управления безопасностью  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Помахо Сергей Владимирович, аспирант ФГОУ ВПО «МГТУ»  
 Смирнов Алексей Жанович, аспирант ФГОУ ВПО «МГТУ»  
 Меньшиков Вячеслав Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГТУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13, ФГОУ ВПО «МГТУ»

## **ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКАЗОВ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В МЕЖРЕМОНТНЫХ ПЕРИОДАХ НА ОСНОВЕ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ**

Забайкальский институт железнодорожного транспорта, филиал ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

**Т.В. Иванова, Д.Г. Налабордин**

### **PROBABILISTIC MODEL OF THE DISTRIBUTION OF FAILURES OF FREIGHT WAGONS IN TURNAROUND TIME ON THE BASIS OF EXPERIMENTAL DATA**

Trans-Baikal institute of railway transport, branch «Irkutsk state university of railway engineering»

T.V. Ivanova, D.G. Nalabordin

The article describes a probabilistic model of the distribution of failures of freight wagons in turnaround time. Based on experimental data obtained by statistical methods the distribution law of failure of freight cars between scheduled maintenance and the main causes of failures.

*Keywords: reliability, rolling stock, the reason for the refusal*

Рассмотрена вероятностная модель распределения отказов грузовых вагонов в межремонтных периодах. На основе опытных данных статистическими методами исследования получен закон распределения отказов грузовых вагонов между плановыми ремонтами и определены основные причины возникновения отказов.

Известно, что построение математических моделей случайных процессов – приоритетное направление в современном научном познании. Транспортная наука не является исключением, особенно если речь идет о такой сложной технико-эксплуатационной и социально-экономической системе как вагонное хозяйство. Математическое моделирование случайных процессов, выбор и обоснование параметров является наиболее эффективным инструментом в инженерном исследовании.

Бесспорно, при выполнении перевозок вагоны должны надежно работать в заданном

режиме эксплуатации в течение установленного времени. Во время эксплуатации вагоны расходуют свой технический ресурс, поэтому его необходимо восстанавливать. Накопление неисправностей в ходовых частях, буксах, тормозах и других узлах вагонов, а, следовательно, и число отказов вагонов, возникающих в процессе движения, зависят в основном от надежности конструкции и величины пробега вагонов.

Низкое качество ремонта вагонов приводит к массовому повторному поступлению их в текущий ремонт и ухудшению работоспособности. Частота поступления вагонов в текущий отцепочный ремонт зависит не только от внешних факторов и особенностей эксплуатации вагонов и их надежности, но также от объема и качества выполнения предыдущего ремонта. Качество продукции есть совокупность ее свойств, обуславливающая пригодность продукции для удовлетворения определенных потребностей в соответствии с ее назначением. Одним из свойств этой совокупности является надежность.

По данным ОАО «РЖД» ежегодно на железных дорогах России каждый грузовой вагон рабочего парка в среднем 2-3 раза в год поступает в отцепочный (неплановый) ремонт. Так в среднем за год отцепляется 1250 тысяч вагонов. Основная причина такого положения – низкое качество проведения плановых видов ремонта. Из-за несоответствия нормативных параметров элементов вагона (а это напрямую связано с качеством ремонта).

Процесс возникновения неисправностей вагонов является случайным, и присущие ему закономерности изучаются с применением вероятностных методов, широко применяемых в теории надежности и массового обслуживания.

В настоящей статье рассмотрена вероятностная модель распределения отказов грузовых вагонов в межремонтных периодах на основе опытных данных. Анализ состояния надежности грузовых вагонов проводился на основе данных информационной системы АБД ПВ. Для определения вероятного числа отказов грузовых вагонов в межремонтном периоде в соответствии с ГОСТ 27.002-89 [1] был принят план испытаний на надежность [NMT] – план испытаний, согласно которому одновременно испытываются  $N$  объектов, после каждого отказа объект восстанавливают, каждый объект испытывают до истечения времени испытаний или наработки  $T$ .

Фрагмент выборочной совокупности данных по числу и причинам отказов грузовых вагонов в межремонтных периодах, их фактическом сроке службы на момент наблюдений представлен в таблице 1.

*Таблица 1 – Исследуемые параметры выборочной совокупности грузовых вагонов (фрагмент)*

№	Номер вагона	Фактический срок службы грузовых вагонов на конец наблюдений	Число отказов в межремонтном периоде		
			общее	производственных	конструкционных
1	67455345	18	4	2	1
2	67123900	14	2	1	1
3	60877233	17	3	1	1
4	62345621	5	0	0	0
5	64577898	11	3	1	1
6	66643209	22	5	2	2
7	63233555	24	4	3	1
8	67565252	26	5	1	3
9	63223423	22	2	1	1
10	67887544	20	3	1	1
...	...	...	...	...	...
200	64529512	18	5	2	2

В результате аппроксимации эмпирических данных установлено, что число отказов грузовых вагонов в межремонтном периоде представляет собой Пуассоновский поток событий, в соответствии с которым вероятность события  $m_i$  раз при  $N$  опытах определяется по формуле (1). Репрезентативность выборки подтверждается тем, что фактический срок службы выборочной совокупности грузовых вагонов подчиняется нормальному закону распределения. Гистограммы распределений в сравнении с теоретическими кривыми представлены на рисунках 1 и 2

$$P(m_i) = \frac{\bar{m}^{m_i} \exp(-\bar{m})}{m_i!}, \quad (1)$$

где  $\bar{m}$  – параметр распределения,

$$\bar{m} = \frac{\sum m_i n_i}{N}$$

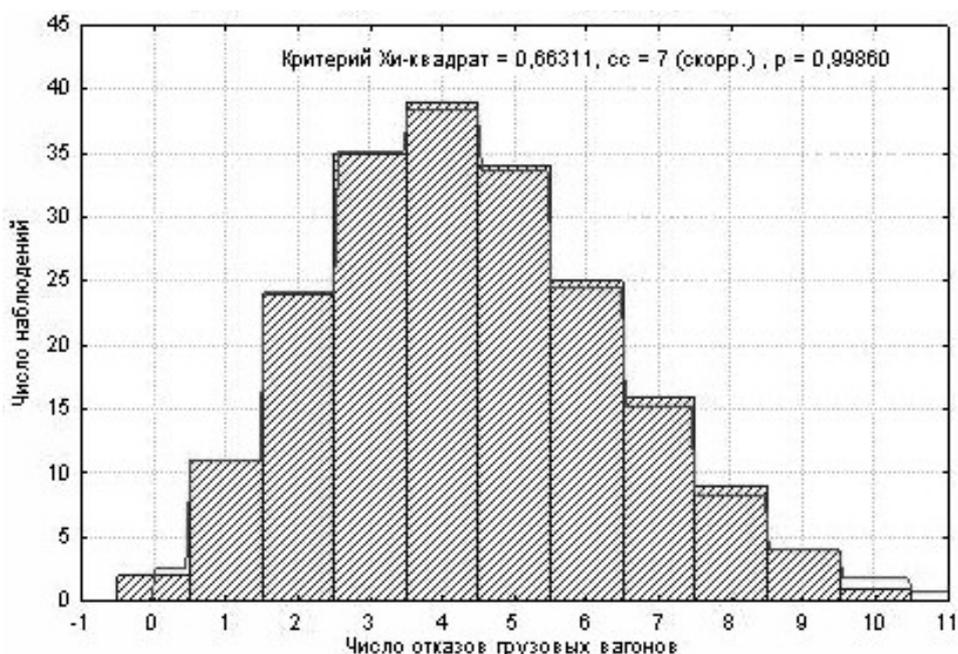


Рисунок 1 – Гистограмма распределения числа отказов грузовых вагонов в межремонтных периодах

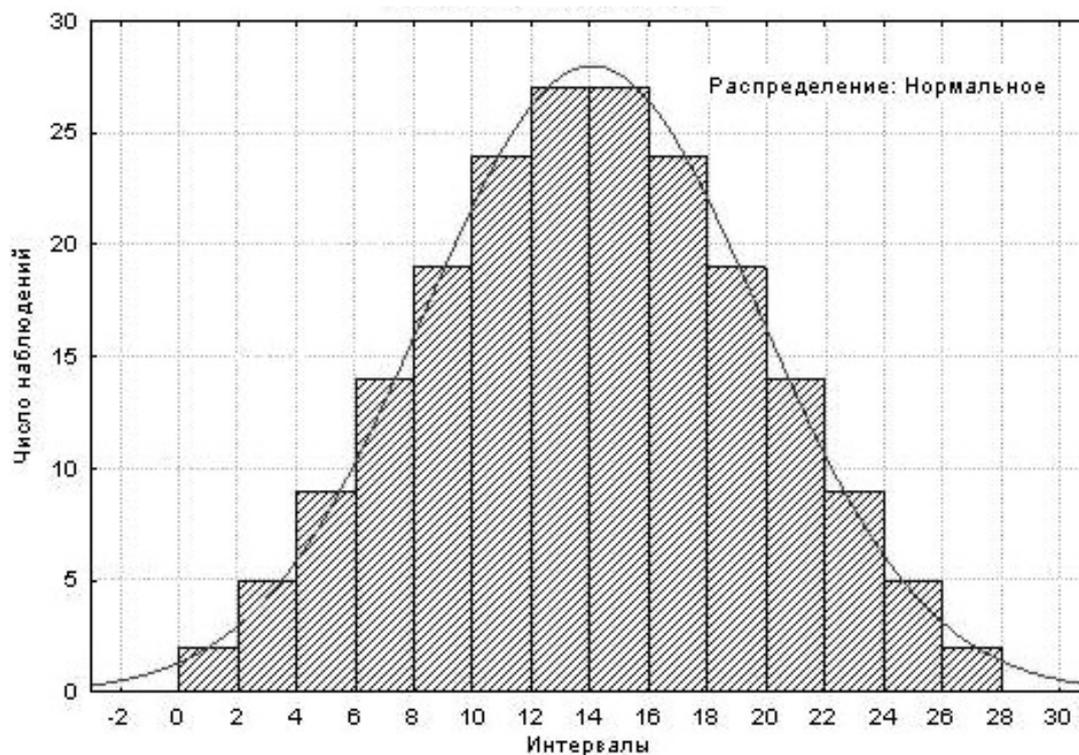


Рисунок 2 – Гистограмма распределения сроков службы грузовых вагонов на момент наблюдений

Методом наименьших квадратов получено уравнение, определяющее линейную зависимость изменения рассматриваемых случайных величин во времени

$$y_i = 0,473x_i - 0,11, \quad (2)$$

где  $y_i$  – число отказов в межремонтном периоде;

$x_i$  – срок службы вагона на момент наблюдения, лет.

В соответствии с ГОСТ 27.002 – 89 [1] под причиной отказа понимаются явления, про-

цессы, события и состояния, обусловившие возникновение отказа. В зависимости от причины возникновения отказы классифицируются следующим образом:

– конструкционный отказ – отказ, возникающий в результате несовершенства или нарушения установленных правил и (или) норм конструирования объекта;

– производственный отказ – отказ, возникающий в результате несовершенства или нарушения установленного процесса изготовления или ремонта объекта, выполнявшегося на ремонтном предприятии;

– эксплуатационный отказ – отказ, возникающий в результате нарушения установленных правил и (или) условий эксплуатации.

Задача, следующего шага исследования заключалась в том, чтобы на основе множественной линейной регрессионной модели установить значимость основных причин отказов, которые влияют на работоспособное состояние грузовых вагонов в процессе эксплуатации.

Уравнение множественной линейной регрессии для определения причин отказов имеет вид

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2, \quad (2)$$

где  $b_0$  – свободный член уравнения, характеризующий долю эксплуатационных отказов;

$b_1, b_2$  – коэффициенты уравнения регрессии;

$Y$  – зависимая переменная, выражающая общее число отказов вагона между плановыми ремонтами;

$X_1$  – независимая переменная, выражающая число производственных отказов грузовых вагонов в межремонтном периоде;

$X_2$  – независимая переменная, выражающая число конструкционных отказов грузовых вагонов в межремонтном периоде.

Для получения более точных оценок коэффициентов уравнения регрессии расчет выполнялся с помощью программного комплекса Statistica 6.0 и применения расчетного модуля Multiple Regression (множественная регрессия) [2].

Результаты расчета регрессионной модели представлены в таблице 2, из которых следует, что зависимость между откликом и предикторами сильная, построенная линейная регрессия адекватно описывает взаимосвязь между откликом и предикторами. Свободный член статистически не значим. Таблица содержит стандартизованные (Бета) и нестандартизованные (В) регрессионные коэффициенты и их стандартные ошибки. Величины Бета позволяют сравнить вклады каждого предиктора в предсказание отклика. Так в предсказание общее число отказов грузовых вагонов в межремонтном периоде большой вклад вносят переменные: производственные и конструкционные отказы.

Одним из условий корректного применения регрессионного анализа является соответствие наблюдаемых значений нормальному закону распределения. На рисунке 3 представлена гистограмма наблюдаемых значений в сравнении с кривой плотности нормального распределения.

*Таблица 2 – Результаты расчета модели множественной линейной регрессии*

	Стандартизованные регрессионные коэффициенты (бета)	Стандартная ошибка оценки	Нестандартизованные регрессионные коэффициенты (В)	Стандартная ошибка оценки
Свободный член	–	–	0,549658	0,138013
Коэффициент $b_1$ при $X_1$	0,874421	0,030778	1,003449	0,035320
Коэффициент $b_2$ при $X_2$	0,591056	0,030778	0,953457	0,049650

Приведенные результаты регрессионного анализа подтверждают высокую адекватность построенной линейной модели, выражающей зависимость общего числа отказов грузовых вагонов в межремонтных периодах от числа конструкционных, производственных и эксплуатационных отказов, соответственно.

Уравнение множественной линейной регрессии имеет вид

$$Y = 0,55 + 1,003X_1 + 0,95X_2. \quad (3)$$

Таким образом, из проведенных исследований следует, что число отказов грузовых вагонов в межремонтных периодах подчиняется закону распределения Пуассона и имеет линейную зависимость от изменения срока службы. Также можно утверждать, что производст-

венные и конструкционные причины являются основными причинами отказов грузовых вагонов.

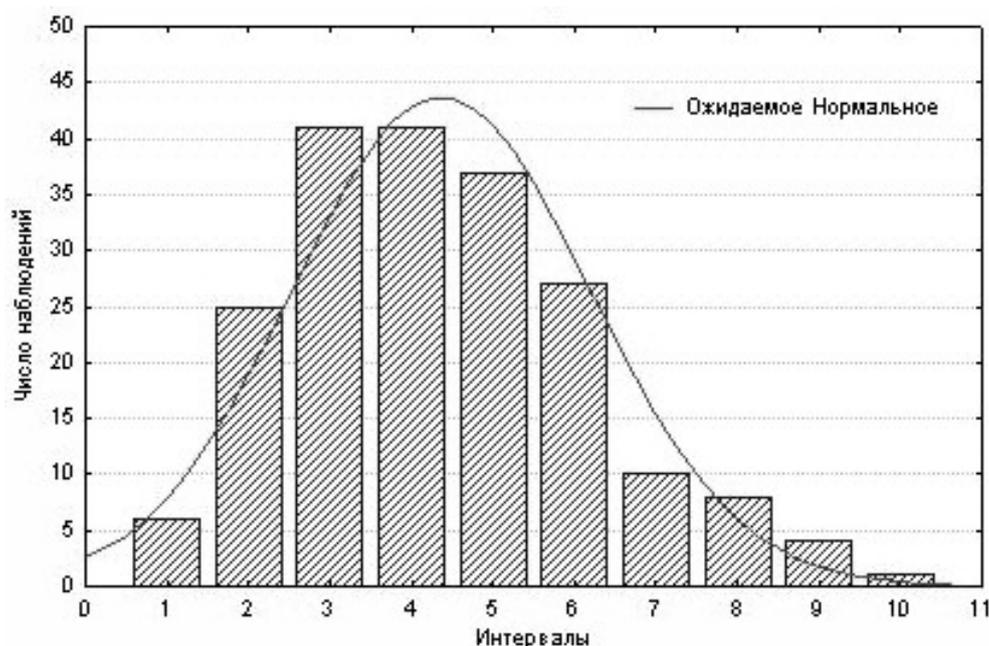


Рисунок 3 – Гистограмма наблюдаемых значений

Результаты исследования могут быть использованы в качестве методологической основы для прогнозирования технического состояния грузовых вагонов в зависимости от срока эксплуатации, а также разработки практических мероприятий для повышения эксплуатационной надежности подвижного состава.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения: ГОСТ 27.002-89. - М.: Изд-во стандартов, 1990. -37 с.

2 Халафян, А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных: учебник / А.А. Халафян. -3-е изд. -М.: Бинوم-Пресс, 2007. -512 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** надежность, подвижной состав, причина отказа

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Иванова Татьяна Владимировна, канд. техн. наук, доцент ЗаБИЖТ, филиал ГОУ ВПО «ИрГУПС»

Налабордин Денис Геннадьевич, ассистент ЗаБИЖТ, филиал ГОУ ВПО «ИрГУПС»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 672040, г. Чита, пер. Магистральный, 11, ЗаБИЖТ, филиал ГОУ ВПО «ИрГУПС»

## ХАРАКТЕРИСТИКА СХЕМ ЗАВОЗА ГРУЗОВ В РЕСПУБЛИКУ САХА (ЯКУТИЯ)

ОАО «Ленское объединенное речное пароходство»

С.А. Ларионов

DELIVERY OF A CIRCUIT FOR CARGO SAKHA REPUBLIC (YAKUTIA)

«Lena united river shipping»  
S.A. Larionov

Provides options for transport schemes of delivery ex works to the point of on-value.

Keywords: consumable resources, transport schemes

Приводятся варианты транспортных схем доставки грузов от завода-поставщика до пункта назначения.

Решение проблемы северных территорий, ускорение наращивания их потенциала в России возможно только с привлечением значительного количества материальных ресур-

сов, которых на месте нет. В связи с этим первостепенное значение в развитии производительных сил этих районов наряду с экономическими, техническими и социальными задачами, принадлежит транспорту.

В республике Саха (Якутия) более 90% ввозимой продукции производится на её территории или не может в настоящее время производиться (продукция производственно-технического назначения, большая часть продовольственных товаров, непродовольственные товары народного потребления). В удельном весе ввоза извне республики, в стоимостном выражении 39% составляют нефтепродукты; 27,5% – продукция производственно-технического назначения, 17% – продовольственные товары народного потребления.

Организация завоза продукции (товаров) является одной из основных экономических проблем республики. Среди регионов Крайнего Севера Республика Саха (Якутия) отличается наиболее экстремальными природно-географическими и климатическими условиями, крайне сложной транспортной схемой с максимально ограниченными сроками действия главных транспортных артерий. Завоз осуществляется по сложной транспортной схеме, ограниченной сроками навигации.

В отличие от других регионов Российской Федерации Республики Саха (Якутия) до 80% из общего объема потребляемых материальных ресурсов завозит из-за пределов республики в короткий навигационный период, который длится в среднем до 3 месяцев, а по «малым рекам» – 10-14 дней. Для обеспечения бесперебойного функционирования хозяйственного комплекса, производственной и социальной инфраструктуры в период навигации ежегодно необходимо обеспечить поставку не менее 2,5 млн. т грузов, в том числе жизнеобеспечивающих. Чтобы осуществить завоза грузов в течение 2-3 месяцев должны быть привлечены значительные финансовые средства для расчетов с поставщиками и транспортными организациями. Затраты на завоз грузов достигают 50-70% от стоимости продукции, работ или услуг. Совершенно очевидно, что даже высоко рентабельное предприятие не в состоянии за счет собственных средств закупить и доставить ресурсы. Ежегодно перед каждым хозяйствующим субъектом республики встает вопрос об изыскании источников финансирования завоза грузов.

В результате ежегодного единовременного привлечения дорогих заемных средств на досрочный завоз продукции производственно-технического назначения, продуктов питания и топлива на год в навигационный период предприятия стали убыточными, образовались значительные размеры задолженностей предприятий и государственного долга республики.

Расстояния подвижных грузов от нереспубликанских поставщиков в среднем составляют свыше 3000 км. Среднее расстояние транспортировки грузов внутри республики сравнимы с расстояниями межобластных перевозок. Например, чтобы доставить груз из г. Якутска потребителям бассейна реки Колыма, необходимо преодолеть расстояние от поставщиков до входных ворот республики около 3000 км и внутри республики водным путем более 4000 км. Объем транспортных издержек по отдельным видам товарных ресурсов в несколько раз превышает цены поставщиков.

Основные объемы продукции, закупаемые за счет средств государственной поддержки завоза продукции (товаров) предназначены для заполярной территории республики, как правило, завозятся один раз в год, при этом для заполярных улусов время прохождения товаров в пути достигает 18 месяцев. Большая продолжительность доставки связана с несовпадением периодов работы сезонных участков, товарная масса постоянно накапливается в пунктах стыковки сезонных участков. Накопление, как правило, происходит в различных пунктах, таким образом, пока товарная масса завоза текущего года еще продолжает движение к потребителю, в начальном пункте (на железнодорожной станции) уже формируется накопленный запас для навигации следующего года.

На период накопления грузов в начальном пункте схемы завоза, завоз грузов в конечном пункте транспортной схемы должен составлять объем достаточный для потребления до первого поступления грузов в текущем году. Этот объем запаса должен быть неснижаемым и постоянно присутствовать на одном из участков транспортной схемы завоза. В идеальном варианте данная неснижаемая часть запаса должна составлять собственные оборотные средства улусов республики или предприятий, осуществляющих завоз грузов. Для улусов со сроками доставки груза более года, этот объем должен быть увеличен на объем грузов, находящихся в депокации на одном из промежуточных пунктов.

Завоз продукции (товаров) в Республику Саха (Якутия) проводится по следующей транспортной схеме:

– Схема А

- 1 завод-поставщик ..... железная дорога;
- 2 Усть-Кут (перевалка, обработка, хранение) ..... река;
- 3 I пункт назначения (вторичная перевалка) ..... зимник;
- 4 II пункт назначения.

– Схема Б

- 1 завод-поставщик ..... железная дорога;
- 2 Усть-Кут (перевалка, обработка, хранение) ..... река;
- 3 I пункт назначения (вторичная перевалка, депоация) ..... река;
- 4 II пункт назначения (третья перевалка) ..... зимник;
- 5 III пункт назначения.

– Схема В

- 1 завод-поставщик ..... железная дорога;
- 2 Мурманск, Архангельск, Находка, Владивосток  
(перевалка, обработка, хранение) ..... море-река;
- 3 I пункт назначения (вторичная перевалка) ..... зимник;
- 4 II пункт назначения.

– Схема Г

- 1 завод-поставщик ..... железная дорога;
- 2 Мурманск, Архангельск, Находка, Владивосток  
(перевалка, обработка, хранение) ..... море-река;
- 3 I пункт назначения (вторичная перевалка, депоация) ..... река;
- 4 II пункт назначения (третья перевалка) ..... зимник;
- 5 III пункт назначения.

– Схема Д

- 1 завод-поставщик ..... железная дорога;
- 2 Томмот (перевалка, обработка, хранение) ..... круглогодичная дорога;
- 3 I пункт назначения.

Схема Е

- 1 завод-поставщик ..... железная дорога;
- 2 Томмот (перевалка, обработка, хранение) ..... круглогодичная дорога;
- 3 I пункт назначения (вторичная перевалка) ..... зимник;
- 4 II пункт назначения.

– Схема Ж

- 1 завод-поставщик ..... круглогодичная дорога-зимник;
- 2 I пункт назначения.

– Схема К

- 1 завод-поставщик ..... воздушные перевозки;
- 2 I пункт назначения.

В целом снабжение республики продукцией (товарами) происходит по четырем направлениям:

- 1 Южные входные базы (Томмот, Алдан) – Южная, Центральные группы улусов;
- 2 Западные входные базы (Усть-Кут) – Западные группы улусов;
- 3 Восточные входные базы (Магадан) – Оймяконский улус, Момский, Томпонский улусы;
- 4 Северные входные базы (Северный морской путь) – Арктические улусы.

К этим четырем направлениям нужно прибавить воздушные перевозки.

Завоз грузов в республику осуществляется на речном, железнодорожном, автомобильном, морском и воздушном видах транспорта.

Причем автомобильный транспорт в основном задействован на внутриреспубликанских перевозках, исключение составляют Оймяконский улус, Момский и Томпонский улусы, которые снабжаются из Магадана по автодорогам круглогодичного пользования и зимникам.

Схема завоза грузов определяется по подрайонам республики отдельно, в зависимости от их географического расположения. С этой целью вся территория Якутии разбивается на семь подрайонов: Центрально-Якутский, Южно-Якутский, Западно-Якутский, Южно-Восточный, Колымо-Индибирский, Вилюйский, Нижне-Янский.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** потребляемые ресурсы, транспортные схемы  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Ларионов Сергей Александрович, генеральный директор ОАО «ЛОРП»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 677980, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Дзержинского, 2, ОАО «ЛОРП»

## ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ В СЕВЕРНЫЕ РАЙОНЫ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

ОАО «Ленское объединенное речное пароходство»  
 ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.А. Ларионов, С.В. Бунташова

RATIONALE FOR PATTERNS OF TRANSPORT OF GOODS IN NORTHERN SAKHA REPUBLIC (YAKUTIA)

«Lena united river shipping»

«Novosibirsk state academy of water transport»

S.A. Larionov, S.V. Buntashova

The technique of justification scheme of freight traffic on the existing transport network and on completion of the Amur-Yakutsk highway.

Keywords: transportation system, the linear network and formulation of the problem

Рассматривается методика обоснования схемы перевозок грузов по действующей транспортной сети и при завершении строительства Амуро-Якутской магистрали.

Обоснование схемы перевозок грузов в северные районы республики производится с использованием методов оптимального планирования для двух вариантов завоза:

- с использованием действующей транспортной схемы;
- при поэтапном вводе в эксплуатацию железной дороги Баркабит-Томмот-Якутск.

Для решения задачи завоза грузов с использованием действующей транспортной схемы рекомендуется экономико-математическая модель наивыгоднейшего распределения однородной продукции между видами транспорта.

Суть задачи состоит в том, чтобы наилучшим образом прикрепить пункты потребления продукции ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) к пунктам её производства ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) с учетом достижения наиболее эффективного распределения перевозок между  $k$ -ми ( $k = 1, 2, \dots, p$ ) различными видами сообщений.

Решение задачи сводится к определению плана  $\{X_{ijk}\}$  при следующих ограничениях:

1 Потребность в продукции каждого  $j$ -го пункта удовлетворяется полностью

$$\sum_i \sum_k X_{ijk} = B_j ; j = 1, \bar{m} .$$

2 Продукция из каждого  $i$ -го пункта отправляется в полном объеме

$$\sum_j \sum_k X_{ijk} = A_i ; i = 1, n .$$

3 Провозная (пропускная) способность  $k$ -го вида транспорта не должна превышать располагаемых ресурсов

$$\sum_i \sum_j f_{ijk} \cdot X_{ijk} \leq \Pi_k ; k = 1, \bar{p} .$$

4 Отыскиваемые переменные выражены неотрицательными числами

$$X_{ijk} \geq 0 , \text{ для всех } i, j, k .$$

5 Транспортные издержки на доставку грузов должны достигать минимального значения

$$\sum_i \sum_j \sum_k C_{ijk} \cdot X_{ijk} \Rightarrow \min ,$$

где  $A_i$  – объем производства в  $i$ -ом пункте отправления;

$B_j$  – объем потребления в  $j$ -ом пункте назначения;

$\Pi_k$  – наличие подвижного состава  $k$ -ого вида транспорта;

$f_{ijk}$  – удельная потребность подвижного состава  $k$ -ого вида транспорта для доставки единицы продукции на  $ij$ -ом маршруте;

$C_{ijk}$  – транспортные издержки на доставку единицы продукции по варианту  $ijk$  ;

$X_{ijk}$  – количество единиц продукции, доставляемой из  $i$ -го пункта в  $j$ -ый с помощью  $k$ -го вида сообщения.

Задача решается одним из известных методов линейного программирования.

Задача доставки груза по определенной схеме в условиях поэтапного ввода дополни-

тельных транспортных связей по отношению к базовой схеме решается с использованием экономико-математической модели в сетевой постановке (рисунок 1).

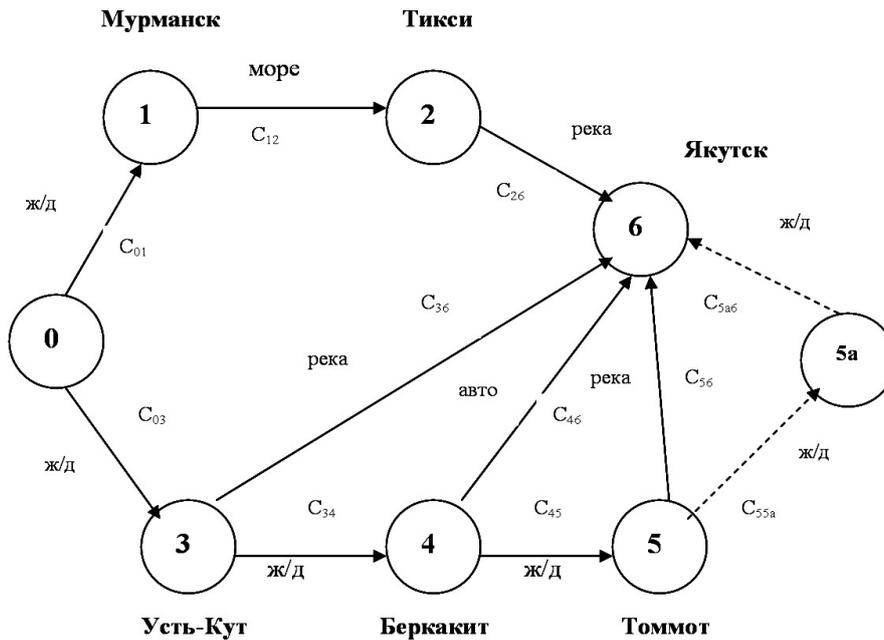


Рисунок 1 – Действующая транспортная сеть (сплошная линия); дополнительная транспортная сеть (пунктирная линия)

В качестве критерия оптимальности можно использовать общие издержки на доставку грузов или время выполнения работ по их завозу. При этом экономико-математические модели задачи записываются следующим образом.

Целевая функция задачи

$$C = \sum_i^{n-1} \sum_j^n C_{ij} \cdot X_{ij} \Rightarrow \min ; T = \sum_i \sum_j T_{ij}^{kp} \cdot X_{ij} \Rightarrow \min .$$

Ограничения:

$$T \leq \text{Const} ; C \leq \text{Const} ; \\ \sum_i X_{in} = \sum_j X_{oj} = Q = \text{Const} ; \sum_i X_{in} = \sum_j X_{oj} = Q = \text{Const} ; \\ 0 \leq X_{ij} \leq b_{ij} ; 0 \leq X_{ij} \leq b_{ij} ,$$

где  $C_{ij}$  – удельные издержки, относимые на доставку грузов;

$X_{ij}$  – поток по дуге  $(E_i E_j)$ ;

$T_{ij}^{kp}$  – время прохождения критического пути;

$b_{ij}$  – пропускная способность участка пути.

Последовательность решения задачи в сетевой постановке следующая:

– Вычертить сетевой график для каждого рода груза (или группы грузов).

– Найти критический путь.

– Оптимизировать сетевой график путем возможного сокращения работ на критическом пути.

– Найти максимальный поток в сети за время прохождения по критическому пути с учетом пропускной способности участков.

– Сравнить максимально возможный грузопоток с проблемным количеством пропускаемого груза. Если последний оказывается меньше либо равен первому, то данный вид перевозок считается урегулированным. Если нет – оставшийся грузопоток ждет своего распределения по другим схемам.

– После урегулирования всех грузопотоков по всем схемам рассчитываются показатели экономической эффективности для каждого варианта. Полученные результаты ранжируются. На базе лучшего уточняется решение задачи с учетом остаточной пропускной способности загруженных участком.

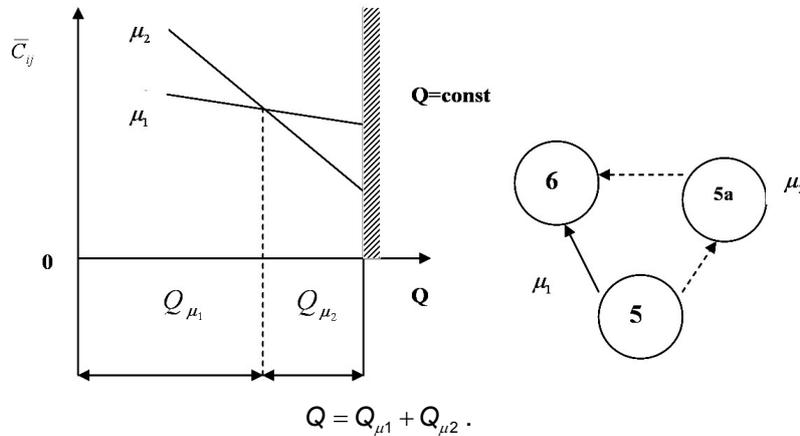
В случае введения в транспортную схему дополнительных участков пути необходимо

учитывать следующие условия:

– Разгрузать можно только работы критического пути. При этом во время разгрузки критический путь может измениться. В этой ситуации разгрузка работ осуществляется по новому критическому пути.

– Распределение перевозок по направлениям может осуществляться по одному из трех вариантов А, В, С.

Вариант А



Путь  $\mu_1 : 5 \rightarrow 6$

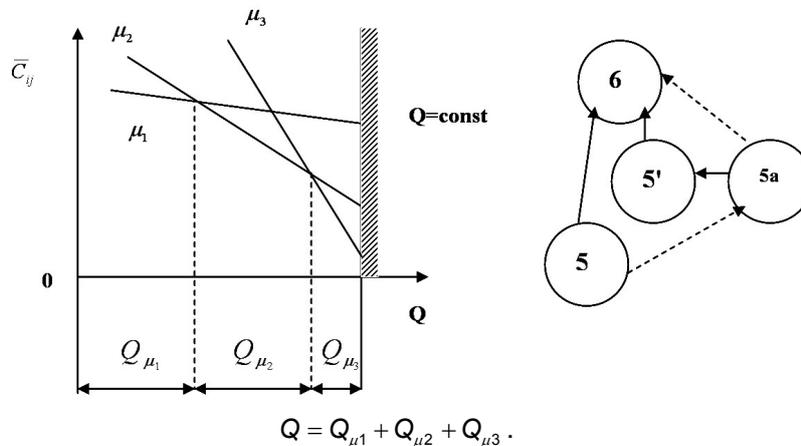
Путь  $\mu_2 : 5 \rightarrow 5a \rightarrow 6$

где  $\bar{C}_{ij}$  – средневзвешенный показатель издержек по остатку пути;

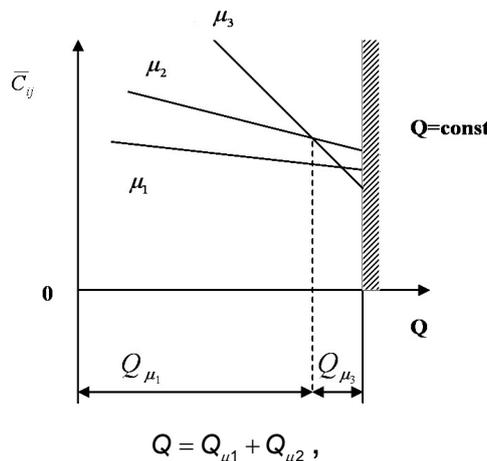
$Q_{\mu_1}$  – количество груза, следующего по первому пути;

$Q_{\mu_2}$  – количество груза, следующего по второму пути (дополнительному пути),

Вариант В



Вариант С



делится только на две ветви.

Таким образом, можно получить рациональную схему распределения перевозок по направлениям движения и использования различных видов транспортных путей.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** транспортная система, линейная и сетевая постановка задачи  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Ларионов Сергей Александрович, генеральный директор ОАО «ЛОРП»  
Бунташова Светлана Венедиктовна, канд. экон. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 677980, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Дзержинского, 2, ОАО «ЛОРП»  
630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПОТРЕБНОСТИ ПОРТА В ДОКЕРАХ-МЕХАНИЗАТОРАХ**

**ФГОУ ВПО «Морской государственный университет  
им. адм. Г.И. Невельского»**

**А.В. Степанец, И.А. Степанец, В.Е. Верютина**

**METHODICAL BASIS OF OPTIMIZATION OF REQUIREMENT FOR MACHINE-OPERATORS IN A SEA PORT**  
«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»  
A.V. Stepanets, I.A. Stepanets, V.E. Veryutina

The article considers statement and economic-mathematical model of optimization required resource in a sea port. The analysis of model is produced and method of decision of task of substantiation of requirement for machine-operators in a sea port is recommended.

*Keywords: machine-operators, seaport, number definition, economic-mathematical model, calculation method*

Приведена постановка и экономико-математическая модель оптимизации потребных ресурсов порта. Произведен ее анализ и рекомендован метод решения задачи обоснования потребности в докерах-механизаторах для морского порта.

В условиях функционирования транспортных предприятий важную роль играет ресурсное обеспечение. Из всех видов ресурсного обеспечения наиболее сложной задачей является определение потребности в трудовых ресурсах.

Проведенный анализ методик определения потребности в докерах – механизаторах [1] показал, что они не обеспечивают получение оптимального результата. В общем случае необходимо обеспечить оптимизационный подход к обоснованию потребности в докерах-механизаторах.

Концептуально-логическое исследование показало, что интенсивность обработки и количество одновременно обрабатываемых судов через потребность в ресурсах функционально взаимосвязаны между собой, то есть методически задачи оптимизации потребности порта в ресурсах, количества одновременно обрабатываемых судов и числа технологических линий должны решаться одновременно

$$\text{Опт} \{M_e / N_j / S_n / N_n / k_{\text{пер}}\} = f(P_n, N_j, N_n, t_{\text{всп}}, Q_c, Q, T_n, S_{\text{ТЛ}}, S_{\text{Ф}}, k_{\text{пер}}), \quad (1)$$

где  $M_e$  – валовая норма обработки судов;

$N_j$  – количество одновременно обрабатываемых судов;

$S_n$  – приведенные затраты порта по обработке судов;

$N_n$  – количество используемых технологических линий;

$k_{\text{пер}}$  – коэффициент перевалки;

$P_n$  – производительность технологической линии;

$t_{\text{всп}}$  – время выполнения вспомогательных операций, не включенных в валовую норму;

$Q_c$  – загрузка расчетного судна;

$Q$  – расчетный грузооборот;

$T_n$  – расчетный период;

$S_{\text{ТЛ}}$  – затраты по содержанию технологической линии;

$S_{\text{Ф}}$  – затраты по содержанию в порту флота (как за период обработки, так и за время ожидания обработки).

В (1) жирным шрифтом выделены переменные варьируемые величины. Следует также

обратить внимание на то, что основные переменные величины являются одновременно оптимизируемыми. В рамках реализации экономико-математической модели это будет означать, что переменные величины можно последовательно фиксировать, рассматривая их временно как постоянные.

Приведенная взаимосвязь положена в основу разработанной автором экономико-математической модели оптимизации ресурсов порта.

Обобщенная постановка задачи выглядит следующим образом. Для каждого вида возобновляемого ( $n$ -го) ресурса формируется вариант укрупненного грузопотока  $Q$ , в рамках которого возможно осуществлять взаимозаменяемость технологических линий  $N_{\pi_i}^{c-е}$ ,  $N_{\pi_i}^{c-ск}$  в процессе одновременной обработки судов  $N_j^{(n)}$ . То есть на стадии предварительной подготовки данных для каждого  $n$  должно быть приведено в соответствие значение  $Q^n$  для освоения которого выделяется условный участок порта  $i$  ( $Q_i^n$ ). Требуется найти такое сочетание  $N_{\pi_i}^{c-е}$ ,  $N_{\pi_i}^{c-ск}$  и  $N_j^{(n)}$ , которое обеспечит минимальные затраты по флоту, оборотным средствам, заключенным в грузах и порту. В основу разработки модели положен принцип расчета по изменяющимся статьям затрат, который означает, что для упрощения расчетов в модель вводятся только те затраты, которые зависят от значений искомых переменных.

Модель включает целевую функцию и ограничения.

Целевая функция имеет вид

$$S_i^{\phi} \left\{ S_i^{\phi(обр)} f(N_{\pi_i}^{c-е}, N_{\pi_i}^{c-ск}, Q_i; k_{пер_i}) + S_i^{\phi(пр)} f(N_{\pi_i}^{c-е}, N_{\pi_i}^{c-ск}, N_j^{(n)}; Q_i^n; k_{пер_i}) \right\} + \\ + S_i^{эп} \left\{ S_i^{эп(обр)} f(N_{\pi_i}^{c-е}, N_{\pi_i}^{c-ск}, Q_i^n; k_{пер_i}) + S_i^{эп(пр)} f(N_{\pi_i}^{c-е}, N_{\pi_i}^{c-ск}, N_j^{(n)}; Q_i^n; k_{пер_i}) \right\} + \\ + \phi_{ni} S_{ni} f(N_{\pi_i}^{c-е}, N_{\pi_i}^{c-ск}, Q_i^n; k_{пер_i}) \rightarrow \min.$$

Первое слагаемое показывает затраты по содержанию флота за время его обработки в порту и за время простоя в ожидании обработки, второе – оборотные средства, заключенные в грузах расчетного грузооборота за время обработки судов и за время ожидания судами начала обработки, третье – затраты по содержанию ресурса  $n$ -го вида.

Ограничения включают следующие факторы:

По концентрации технологических линий

$$N_{\pi_i}^{c-е} + N_{\pi_i}^{c-ск} \leq N_{\pi_i}^{\max};$$

По значению коэффициента перевалки

$$1 \leq k_{пер_i} \leq 2;$$

По признаку необходимости оптимизации ресурса  $n$ -го вида

$$\phi_{ni} = (0; 1);$$

По количеству ресурсов (число ресурсов не должно превышать ограничения, если такие имеются, по числу ресурсов  $n$ -го вида на  $i$ -ом условном участке порта)

$$N_{\pi_i} \leq N_{\pi_i}^{эп};$$

По числу одновременно обрабатываемых судов (число одновременно обрабатываемых судов не должно превышать число технологических перегрузочных комплексов (ТПК), предназначенных для укомплектования ресурсом  $n$ -го вида на  $i$ -ом условном участке порта)

$$N_j^{(n)} \leq N_{ТПК_i}^{(n)};$$

По числу ТПК (число ТПК, предназначенных для укомплектования ресурсом  $n$ -го вида, не должно превышать число ТПК на  $i$ -ом условном участке порта)

$$\sum_n N_{ТПК}^{(n)} \leq N_{ТПК_i};$$

По числу ТПК (число ТПК на  $i$ -ом участке порта не должно превышать число ТПК по порту в целом)

$$\sum_n N_{ТПК_i} \leq N_{ТПК_n};$$

По неодновременности оптимизации потребности в ресурсах (одновременная оптимизация ресурсов невозможна)

$$\sum_n \phi_n = 1;$$

По целочисленности переменных

$$\{N_j, N_{nj}\} \rightarrow \text{целые числа};$$

По неотрицательности переменных

$$\{N_j, N_{nj}\} \geq 0.$$

В описании математической модели использованы следующие обозначения:

- $i$  – индекс «условного участка», в который объединяются группы грузов для оптимизации: интенсивности обработки, потребности в ресурсах, оптимизации количества одновременно обрабатываемых судов;
- $n$  – вид возобновляемого ресурса;
- $\phi_{ni}$  – условный признак ресурса (Булевы переменные, принимающие значение «0» или «1»), характеризующий необходимость оптимизации определения потребности ресурса  $n$ -го вида на  $i$ -ом условном участке порта;
- $N_{n_i}^{\max}$  – средневзвешенная максимальная концентрация технологических линий, которая может быть установлена при обработке судов на  $i$ -ом условном участке порта;
- $N_{n_i}^{c-в}$  – расчетная концентрация технологических линий для перегрузки грузов по прямому варианту при обработке судна на  $i$ -ом условном участке порта;
- $N_{n_i}^{c-ск}$  – расчетная концентрация технологических линий для перегрузки грузов по складскому варианту при обработке судна на  $i$ -ом условном участке порта;
- $N_{j_i}^{(n)}$  – число одновременно обрабатываемых судов (НПК) на  $i$ -м условном участке порта, для которого определяется потребность в ресурсе  $n$ -го вида;
- $k_{пер, i}$  – расчетный коэффициент перевалки для грузов  $i$ -го условного участка порта;
- $Q_i^n$  – общее количество груза, перегруженного на  $i$ -ом условном участке порта, для которого определяется потребность в ресурсах  $n$ -го вида;
- $S_i^{\phi}$  – затраты по содержанию флота;
- $S_i^{\phi(обр)}$  – затраты по содержанию флота за время его обработки в порту;
- $S_i^{\phi(пр)}$  – затраты по содержанию флота за время простоя судов в ожидании обработки;
- $S_i^{эп}$  – оборотные средства, заключенные в грузах  $i$ -го участка за время обработки судна в порту и за время ожидания судами начала обработки, руб.;
- $S_i^{эп(обр)}$  – оборотные средства, заключенные в грузах  $i$ -го участка за время обработки судна в порту, руб.;
- $S_i^{эп(пр)}$  – оборотные средства, заключенные в грузах  $i$ -го участка за время ожидания судами начала обработки, руб.;
- $S_{ni}$  – затраты по ресурсам  $n$ -го вида;
- $N_{n_i}$  – число ресурсов  $n$ -го вида (задаваемых в процессе оптимизации) на  $i$ -ом условном участке порта;
- $N_{n_i}^{огр}$  – ограничения по числу ресурсов  $n$ -го вида (имеющихся или возможных для использования) на  $i$ -ом условном участке порта;
- $N_{ТПК, i}^{(n)}$  – число ТПК, предназначенных для укомплектования ресурсом  $n$ -го вида на  $i$ -ом условном участке порта;
- $N_{ТПК, i}$  – число ТПК на  $i$ -ом условном участке порта;
- $N_{ТПК, n}$  – число ТПК по порту в целом.

Анализ экономико-математической модели и ограничений показывает, что поиск оптимального решения представляет определенные трудности, так как целевая функция предусматривает оптимизацию двух целочисленных взаимозависимых переменных при наличии их дискретной взаимосвязи с составляющими целевой функции с частично целочисленными ограничениями. Эти трудности не позволяют применить известные универсальные аналитические методы.

В работах ряда авторов указано, что наиболее универсальным методом, который может быть применен для решения оптимизационных задач такого класса является эвристический метод, основанный на использовании «функций предпочтения».

На основе выбранного метода решения разработан алгоритм, который обеспечивает реализацию разработанной математической модели оптимизации ресурсов порта. Алгоритм учитывает все составляющие целевой функции и ограничения.

Оптимизационный процесс построен, исходя из условия, что в составе целевой функции имеются составляющие, имеющие разный характер поведения при изменении варьируемого параметра. Для выбора оптимального варианта производится парное сравнение результатов расчетов по каждому варьируемому параметру, начиная со второго значения для каждого параметра. Разработанный авторами эвристический алгоритм в силу ограниченного объема не приводится.

Основные параметры определяются по известным формулам [2]. Определив все параметры, связанные с обработкой судов в порту, затраты порта и затраты по содержанию судов можно определить суммарные затраты, связанные с освоением грузопотока. Минимальное значение суммарных приведенных затрат будет соответствовать оптимальному сочетанию числа технологических линий на обработке судна и числа одновременно обрабатываемых судов.

Для проверки методики, были проведены оптимизационные расчеты для группы стивидорных компаний Владивостокского морского торгового порта, которые можно считать взаимозаменяемыми. В отчетном периоде численность докеров-механизаторов составляла приблизительно 600 человек, которую можно рассматривать в качестве базового варианта. Результаты расчетов параметров обработки судов, затрат по порту, флоту и суммарных затрат для предлагаемого варианта представлены на графике зависимости затрат по порту, флоту и суммарных затрат для различных сочетаний числа технологических линий и количества одновременно обрабатываемых судов (рисунок).

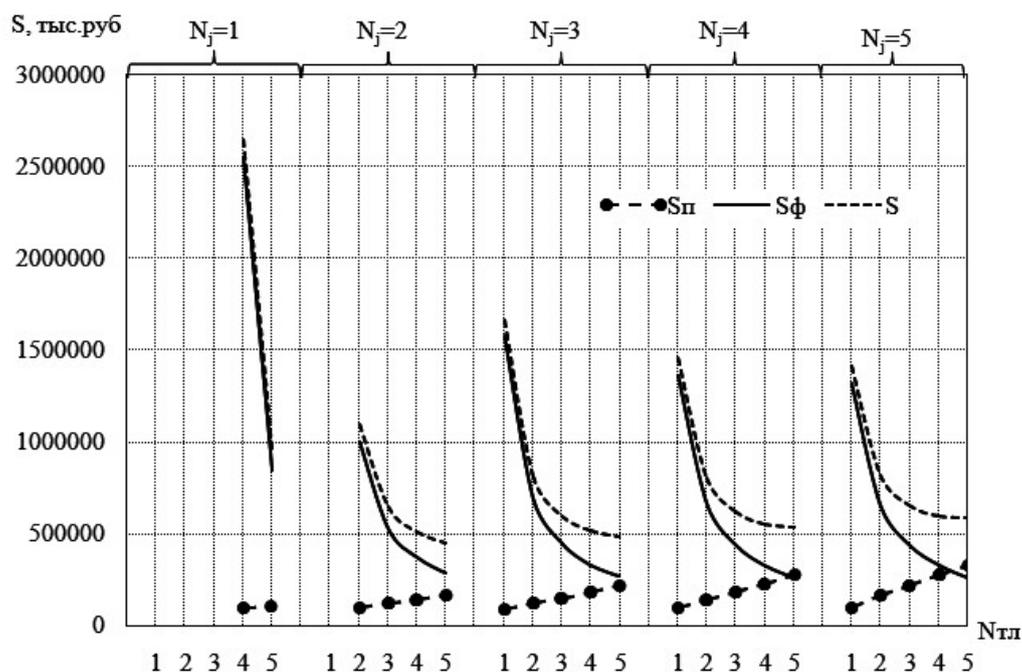


Рисунок – График зависимости затрат для сочетаний  $N_{пл}$  и  $N_j$

Из графика видно, что оптимальное сочетание при котором суммарные затраты по порту и по флоту минимальные –  $N_{пл} = 5$  и  $N_j = 2$ . Полученный результат дает возможность варьирования численностью докеров-механизаторов в рамках полученных оптимальных 10 одновременно работающих технологических линий. В связи с этим произведены расчеты по оптимальному и близким к оптимальному вариантам. Получаем, что оптимальным сочетанием является сочетание  $N_{пл} = 3,3$  и  $N_j = 3$ , при котором численность Д-М сокращается на 122 человека. Экономический эффект составляет 72 688 000 руб.

Полученные результаты согласуются с мнением руководства ОАО «ВМТП» и судоходных компаний, поэтому предложенный подход к оптимизации численности докеров-механизаторов можно считать достоверным и приемлемым для использования в плановой и проектной деятельности.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Степанец, А.В. К вопросу определения численности докеров-механизаторов морского порта / А.В. Степанец, Л.В. Терентьева, В.Е. Верютина // Модернизация и перспективы развития современного общества. В 4 ч. Ч.4.: материалы междунар. науч.-практ. конф., 30 июня 2010 г. -Саратов, 2010. -С. 3-12.

2 Организация, планирование и технология перегрузочных работ в морских портах / А.С. Фролов [и др.]. -М.: Транспорт, 1979. -408 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** докер-механизатор, морской порт, определение численности, экономико-математическая модель, методика расчета

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Степанец Анатолий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
Степанец Игорь Анатольевич, канд. техн. наук, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
Верютина Виктория Евгеньевна, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

**МЕХАНИЗМ ПОСТОЯННОГО УЛУЧШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ОРГАНИЗАЦИИ**

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

**Н.В. Злобина**

**THE MECHANISM OF CONSTANT IMPROVEMENT OF ECONOMIC MAINTENANCE OF SYSTEM OF QUALITY MANAGEMENT OF THE ORGANIZATION**

«Tambov state technical university»  
N.V. Zlobina

In article attempt to generate a basis of working out of the mechanism of constant improvement of economic maintenance of system of quality management of the organization based on the intellectual capital, uniform strategy and competent administrative decisions is undertaken.

*Keywords: strategy, quality management system, development, mechanism*

Предпринята попытка сформировать основы разработки механизма постоянного улучшения экономического обеспечения системы менеджмента качества организации, основанного на интеллектуальном капитале, единой стратегии и грамотных управленческих решениях.

Стратегической целью любой организации должно являться улучшение приспособленности к изменяющимся условиям её внутренней и внешней среды. Увеличение влияния изменения всегда сопровождается нахождением баланса между вариативностью и внезапностью, которые усиливают конкурентную борьбу организации, и гармонией и инициативой, которые ее сокращают.

Однако внезапность без гармонии порождает хаос, а гармония без внезапности порождает предсказуемость. В современных условиях основной задачей организации как сложной системы должно являться стремление к гармонии и конкурентной борьбе.

На основании обобщения теоретических знаний, изложенных в научной литературе, практического опыта, изучения семейства международных стандартов ISO, основных принципов и подходов к деятельности организации, следует отметить, что инструментом достижения вышеизложенного может быть система менеджмента качества организации. Вопросы разработки системы менеджмента качества организации достаточно полно отражены в отечественной и зарубежной научной и практической литературе. Однако аспекты экономического обеспечения системы менеджмента качества организации не имеют единого подхода среди зарубежных и отечественных исследователей. В настоящее время улучшение экономического обеспечения системы менеджмента качества организации возможно посредством реализации следующего принципа системы – чем больше система и чем больше различие между частью и целым, тем выше вероятность того, что свойства целого могут сильно отличаться от свойств его частей. На основе данного принципа, качество и совокупность свойств компонентов системы менеджмента качества позволяет сформировать новое совершенное

свойство системы менеджмента качества в целом, которое не присуще ее элементам в отдельности, а возникает благодаря объединению этих элементов в единую, целостную интегрированную систему.

Формировать новое совершенное свойство системы возможно на основе единой схемы, которая воспроизводится на всех уровнях последовательности действий, позволяющих сформировать новое улучшенное экономическое обеспечения системы менеджмента качества организации.

Схема представляет собой метод оперативного и тактического управления, который построен на точных оценках экономической ситуации, рациональном принятии решений и быстром их исполнении (рисунок) [1].

При реализации данной схемы менеджеры организации имеют большую самостоятельность и могут действовать, быстро создавая внезапность, но в рамках единой системы показателей, которая воспроизводится на всех уровнях последовательных действий.

Система показателей данной схемы базируется на общности/доверии; интуитивной компетентности; ясной тактике; фокусе и направлении.

На наш взгляд, фокус и направление персонала определяют корпоративную культуру организации, то есть систему ориентации, неявные коммуникации, общий язык и взгляды на вещи, общие тактические приемы, сформированные долгими годами функционирования организации.

Предложенная схема повторяется как на тактическом, так и на стратегическом уровне принятия решений. При этом, чем ниже управленческий уровень, тем оперативнее должна быть способность действовать, сохраняя единство. В тактическом смысле, это спонтанные, синтетические/креативные и текущие действия, а не пошаговые, аналитико-логические, дискретные ходы. При реализации схемы необходимо руководствоваться следующими правилами: во-первых, приступать к реализации следующего этапа следует только после полной реализации предыдущего; во-вторых, каждый следующий этап предполагает обязательное сохранение уровня качества принятых ранее решений; в-третьих, улучшение качества принимаемых решений должно быть ориентиром при реализации всей схемы управления.

Исходя, из анализа вышесказанного можно сделать следующий вывод о том, что новое совершенное свойство постоянного улучшения экономического обеспечения системы менеджмента качества (СМК) будет возможно при условии:

формирования и развития интеллектуального капитала, заключающегося в совокупности умственных и физических способностей персонала, направленной на достижение целей организации;

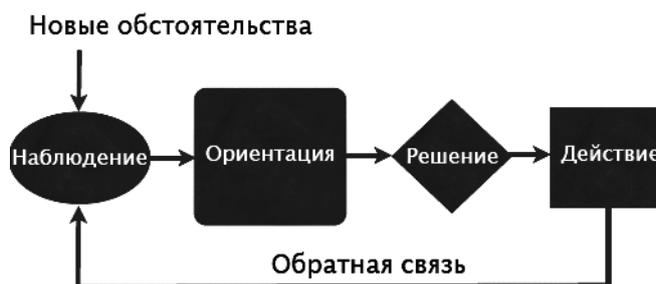
наличии обратной связи между управленческим персоналом всех уровней, позволяющей каждому участнику иметь собственную схему тактического управления;

единой стратегии развития системы менеджмента качества организации нацеленной на гармонизацию внутренней среды и внешних условий функционирования организации.

Таким образом можно сформулировать концептуальные основы постоянного улучшения экономического обеспечения системы менеджмента качества организации, которые представлены последовательными действиями единого механизма:

- организация улучшения экономического обеспечения системы менеджмента качества;
- документирование процедур и действий;
- определение возможностей для улучшений экономического обеспечения системы менеджмента качества;
- проектирование улучшенного экономического обеспечения системы менеджмента качества;
- реализация решений, направленных на достижение запланированных результатов.

Для реализации механизма постоянного улучшения экономического обеспечения системы менеджмента качества (далее – механизм) должны быть вовлечены структурные подразделения, заинтересованные в улучшении. К каковым могут быть отнесены: топ-



*Рисунок – Схема оперативного и тактического управления*

менеджмент, служба качества, планово-финансовый отдел, бухгалтерия, отдел стратегического развития.

На первом этапе в процессе организации проекта по формированию и развитию механизма создается команда для мониторинга улучшений экономического обеспечения системы менеджмента качества. Кроме того, каждый раз для изучения нового процесса экономического обеспечения системы менеджмента качества создается новая группа, называемая «команда по улучшению процесса экономического обеспечения системы менеджмента качества».

На втором этапе формирования и развития механизма происходит документирование сфер и направлений для улучшения экономического обеспечения системы менеджмента качества, которое состоит из:

- инвентаризации существующей документации;
- изучение текущих процедур;
- документирование в соответствии с выбранными методиками;
- обеспечение обратной связи с вовлеченными лицами и получение их одобрения;
- введение описаний экономического обеспечения системы менеджмента качества в набор документов;
- выбор показателей экономического обеспечения системы менеджмента качества, которые будут анализироваться в ходе следующего этапа;
- выбор окончательных целей и методик анализа;
- планирование этапа анализа;
- предоставление отчёта команде по отбору и улучшению экономического обеспечения системы менеджмента качества.

Обычно отчеты для команды по отбору и улучшению экономического обеспечения СМК системы менеджмента качества составляются в ходе последовательной реализации каждого действия второго этапа.

Третьим этапом механизма выступает определение возможностей для улучшений. Данный этап включает реализацию следующих шагов:

- определение причин дефектов экономического обеспечения системы менеджмента качества;
- оценку эффективности управления информацией;
- анализ результативности и эффективности файлов данных (картотек, массивов данных);
- анализ своевременности выполнения и длительности цикла действий;
- определение взаимоотношений мероприятий и функций в рамках организации;
- маршрутизацию экономического обеспечения системы менеджмента качества;
- определение точности и тщательности операций по обработке данных;
- оценку эффективности экономического обеспечения системы менеджмента качества;
- определение возможности использования преимуществ стандартизации;
- выявление дублирующих и избыточных процедур и мероприятий;
- оценку эффективности и производительности применяемых инструментов.

После получения одобрения команды по отбору и улучшению экономического обеспечения системы менеджмента качества и рассмотрения всех заключений и рекомендаций групп в одобренные планы изменений необходимо занесение данных о необходимости модификации экономического обеспечения системы менеджмента качества организации, о выполнении дальнейших детальных изучений, о начале улучшенного экономического обеспечения системы менеджмента качества и т.д.

Четвертым этапом механизма является этап проектирования улучшенного экономического обеспечения системы менеджмента качества, который предполагает осуществление следующих мероприятий:

- анализа методов, технологии и документации при проектировании экономического обеспечения системы менеджмента качества;
- определение начальной позиции организации;
- определение применения информации;
- проектирование логической структуры;
- проектирование физической структуры;
- внесение изменений в экономическое обеспечение системы менеджмента качества;
- проектирование экономического обеспечения системы менеджмента качества и раз-

работка системы.

Пятым этапом выступает реализация решений, нацеленных на достижение запланированных результатов. Данный этап должен включать следующие действия:

- формирование команды по достижению запланированных результатов;
- разработка плана внедрения;
- внедрение плана на первые 90 дней;
- внедрение долгосрочных улучшений;
- проведение измерений и отчет о результатах;
- проведение периодических обзоров;
- сравнение результатов и целей;
- поощрение членов команды.

Таким образом, предлагаемый механизм постоянного улучшения экономического обеспечения системы менеджмента качества организации позволит идентифицировать и реализовать скрытые резервы и возможности для дальнейшей эффективной конкурентной борьбы в рыночных условиях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кирисов, С.В. Теория и практика применения процессного подхода к управлению качеством деятельности организации: монография / С.В. Кирисов. -Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. -80 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** стратегия, система менеджмента качества, развитие, механизм  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Злобина Наталья Васильевна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «ТГТУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106, ГОУ ВПО «ТГТУ»

## **ФОРМИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРУКТУРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ОАО «РЖД»**

ФГОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»  
Северо-Западный региональный общий центр обслуживания  
ОАО «Российские Железные Дороги»

**В.А. Ерофеева, С.А. Новосельская**

**FORMATION MECHANISMS TO EVALUATE THE STRUCTURAL DIVISIONS OF JSC «RUSSIAN RAILWAYS»**  
«Petersburg state transport university»  
Northwest regional service center general «Russian railways»  
V.A. Yerofeyeva, S.A. Novosel'skaya

We consider the development of promising methods for assessing the effectiveness of the structural divisions of JSC «Russian Railways» in reforming the sector. The authors propose an alternative method of constructing a system of performance indicators of structural units and on their basis of calculation of transfer prices within the framework of management accounting.

*Keywords: performance indicators, the transfer prices*

Рассмотрена разработка перспективных методов оценки эффективности деятельности структурных подразделений ОАО «РЖД» в условиях реформирования отрасли. Авторами предложена альтернативная методика построения системы показателей эффективности деятельности структурных подразделений и расчета на их основе трансфертных цен в рамках управленческого учета.

В ходе проведения структурной реформы на железнодорожном транспорте произошел переход отрасли на новую модель управления финансовыми, организационными, материальными, кадровыми и прочими ресурсами на основе бюджетно-сметной системы и расчетно-платежного механизма. Это стало важным шагом на пути преодоления системных проблем отрасли в условиях формирования рыночной конкурентной среды.

Однако практическое внедрение новых методов управления и дальнейшие исследования в этой области выявили ряд проблем, связанных со спецификой деятельности железнодорожного транспорта. Так, в связи с тем, что определение конечного финансового результата (прибыли или убытка) ОАО «РЖД» происходит на уровне юридического лица, встала

задача оценки эффективности деятельности его структурных подразделений.

Существующие методы оценки эффективности деятельности территориальных и функциональных филиалов ОАО «РЖД» на основе ключевых показателей, установленной действующей системой управления, не распространяются на уровень структурных единиц. Высокая степень централизации денежных потоков в отрасли, отсутствие самостоятельности в принятии управленческих и финансовых решений на местах, нехватка заложенных в бюджете средств на реальные нужды предприятий, неадекватные принципы формирования системы мотивации приводят к утрате структурными подразделениями стимулов производительного труда и развития.

Учитывая все вышеперечисленные недостатки действующей финансовой системы ОАО «РЖД», предлагаем использовать механизм хозрасчета на основе трансфертного ценообразования в рамках системы управленческого учета.

Существуют различные определения понятия трансфертные цены, однако в общем случае трансфертными называют цены при сделках между филиалами, подразделениями, подконтрольными фирмами одной компании. В нашем случае имеется ввиду установление «условных цен», не подразумевающих реального движения денежных средств и выставления счетов внутри компании. Такое использование трансфертных цен в рамках системы управленческого учета позволит решить следующие задачи:

- сформировать механизм для повышения эффективности работы подразделений и роста прибыли компании в целом;
- усовершенствовать инструмент мотивации руководителей подразделений;
- рассчитать эффективность работы каждого подразделения или вида бизнеса для принятия решения о его дальнейшем развитии, реструктуризации или выделении;
- регулировать спрос и предложение на услуги подразделений и, следовательно, регулировать количество ресурсов, необходимых для предоставления этих услуг [1].

Внедрение механизма трансфертного ценообразования начинают с определения состава участников внутреннего рынка. В процессе реформы ОАО «РЖД» была построена финансовая структура компании, а именно выделены центры финансовой ответственности (бизнес-единицы). Типовыми центрами ответственности являются: центр доходов, центр затрат (нормативных и управленческих), центр прибыли и инвестиций. Далее устанавливается порядок расчета цен и алгоритм их применения. В литературе существуют различные подходы к определению трансфертных цен, но чаще всего встречаются следующие: рыночный, затратный, договорной. Сегодня в ОАО «РЖД» передача расходов по внутрихозяйственному обороту имеет черты, схожие с трансфертным ценообразованием. Применяемый в этом случае метод расчета внутренней цены основан на условно полных издержках (один из вариантов затратного метода).

В целях разработки действенной системы оценки эффективности работы подразделений ОАО «РЖД» и соответственно справедливой мотивации руководителей и работников предлагаем следующую методику расчета трансфертных цен в рамках управленческого учета.

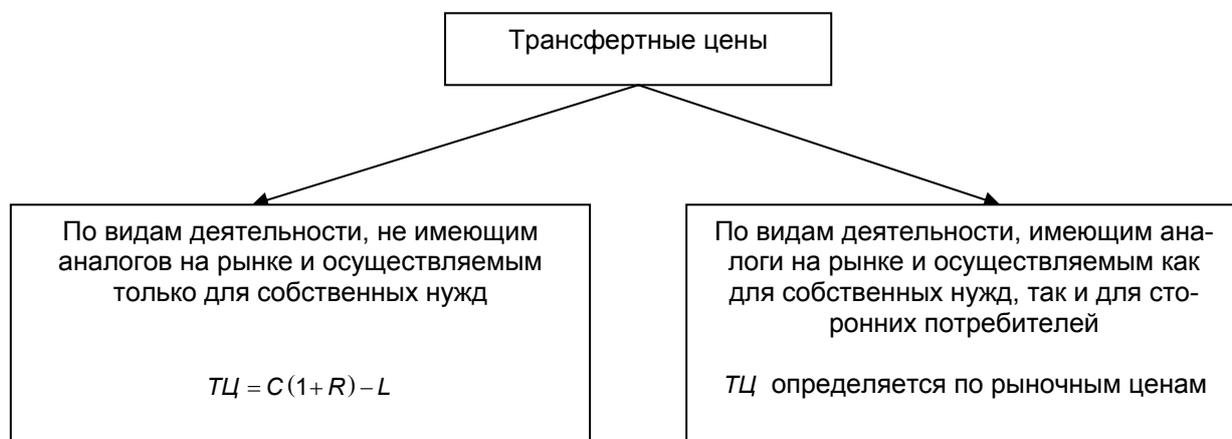


Рисунок 1 – Принципы расчета трансфертных цен в ОАО «РЖД»: ТЦ - трансфертные цены; С - себестоимость; R - рентабельность; L - непроизводительные расходы

По видам деятельности, не имеющим аналогов на рынке и осуществляемым только для

собственных нужд, расчет трансфертной цены основывается на затратном подходе методом маржинальных затрат. В качестве маржи выступает рентабельность деятельности конкретного подразделения, определение которой и представляет наибольший интерес. Необходимо, чтобы, с одной стороны система трансфертных цен стимулировала структурные подразделения выполнять свои функции на высшем уровне с наименьшими затратами, а с другой стороны ОАО «РЖД» могло оказывать влияние на предельно допустимые колебания рентабельности отдельных подразделений в интересах компании в целом. В связи с этим мы предлагаем следующую методику установления уровня рентабельности. В зависимости от достигнутой за отчетный период рентабельности деятельности компании устанавливается нижняя граница рентабельности  $R_H$  для всех структурных подразделений на предстоящий отчетный период. Верхний предел  $R_B$  может быть установлен в соответствии с прогнозом на предстоящий период. Нижняя граница является исходной величиной для расчета фактического уровня рентабельности  $R_\phi$  по структурному подразделению на основе следующей формулы:

$$R_\phi = R_H k, \quad (1)$$

где  $k$  – интегральный показатель эффективности деятельности структурного подразделения,

$$k = \sum_{i=1}^n w_i k_i, \quad (2)$$

$k_i$  – ключевые показатели эффективности деятельности структурного подразделения;

$w_i$  – вес  $i$ -го коэффициента, ( $0 \leq w_i \leq 1$ );

$n$  – количество коэффициентов.

На материалах Рельсосварочного поезда №1 Октябрьской дирекции по ремонту пути «Путьрем» – структурного подразделения Центральной дирекции по ремонту пути – филиала ОАО «РЖД» построим систему ключевых показателей эффективности деятельности.

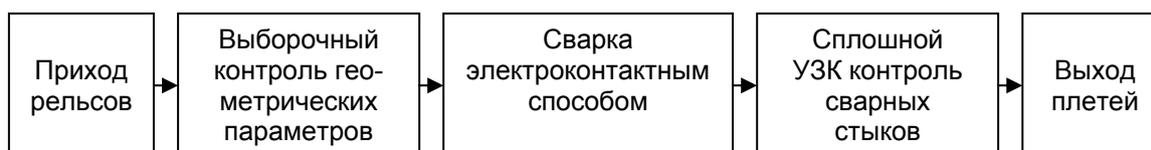
Основными задачами рельсосварочного предприятия являются:

- оптимизация затрат при безусловном обеспечении качества выполняемых работ (услуг) и безопасности перевозок;
- выполнение заданного объема работ в установленные сроки;
- оптимизация управления персоналом на основе сближения интересов работников и компании, а также повышение эффективности труда;
- расширение подсобно-вспомогательной деятельности в целях получения дополнительных доходов при условии первоочередного полного удовлетворения внутренних нужд компании в услугах рельсосварочного предприятия.

Рельсосварочный поезд №1 осуществляет следующие виды деятельности:

- сварка рельсовых плетей из рельсов длиной 25 м;
- сварка рельсовых плетей из рельсов длиной 6-23 м;
- сварка рельсовых стыков в пути машинами ПРСМ;
- изготовление клееболтовых изолирующих стыков;
- изготовление сварных рельсов переходного профиля.

Бизнес-процесс сварки рельсов электроконтактным способом представлен на рисунке 2.



*Рисунок 2 – Бизнес-процесс сварки рельсов электроконтактным способом*

Оценка эффективности использования всех видов ресурсов на каждом этапе бизнес-процесса сварки подразумевает выполнение определенного перечня показателей. Система этих показателей строится по принципу план-факт-отклонение. Отклонение может оцениваться как в абсолютных, так и в относительных величинах. Мы предлагаем построить систему показателей, основанную на расчете относительных величин – коэффициентов выполнения плана. Весь спектр оцениваемых коэффициентов разбивается на три блока: финан-

совая составляющая (коэффициент выполнения плана по себестоимости); внутренние хозяйственные процессы (коэффициент выполнения плана по объему работ, непроизводительные расходы); инновации, человеческий капитал (коэффициент выполнения плана по производительности труда, по фондовооруженности труда, индекс инноваций). Здесь мы исключили блок «Клиенты», который рекомендуется рассматривать согласно методике сбалансированной системы показателей. Поскольку рельсосварочный поезд является центром затрат ОАО «РЖД», в его компетенцию не входят обязанности по работе с внешними клиентами. Этим занимаются другие структурные единицы ОАО «РЖД» (центры доходов).

Также необходимо отметить, что под непроизводительными расходами мы предлагаем понимать стоимостную оценку причиненного ущерба ОАО «РЖД» от нарушений внутренних стандартов и допущенного брака, расходы на устранение отказов пути (частичных и полных) по вине РСП, упущенную выгоду в связи с простоем оборудования. Очевидно, что здесь неприемлем подход расчета относительных величин (коэффициентов), поскольку планирование непроизводительных расходов нерационально.

*Таблица 1 – Ключевые показатели эффективности деятельности рельсосварочного предприятия*

Финансовая составляющая	Внутренние хозяйственные процессы	Инновации, человеческий капитал
1 Коэффициент выполнения плана по себестоимости:	2 Коэффициент выполнения плана по объему работ:	4 Коэффициент выполнения плана по производительности труда
1.1 Сварки рельсовых плетей бесстыкового пути	2.1 По сварке рельсовых плетей бесстыкового пути	5 Коэффициент выполнения плана по фондовооруженности труда
1.2 Сварки рельсовых стыков в пути машинами ПРСМ	2.2 По сварке рельсовых стыков в пути машинами ПРСМ	6 Индекс инноваций
1.3 Изготовления клееболтовых стыков	2.3 По изготовлению клееболтовых стыков	
1.4 Изготовления сварных рельсов переходного профиля	2.4 По изготовлению сварных рельсов переходного профиля	
	3 Непроизводительные расходы:	
	3.1 Количество (%) брака на выходе	
	3.2 Количество отказов пути (частичных и полных) по вине РСП	
	3.3 Число нарушений внутренних стандартов	
	3.4 Время простоя по внутренним причинам	

Расчет интегрального показателя эффективности деятельности рельсосварочного предприятия производится в несколько этапов.

На первом этапе определяются частные коэффициенты выполнения плана по себестоимости в разрезе осуществляемых видов деятельности (поскольку все выполняемые виды деятельности приводятся к единому измерителю, коэффициент выполнения плана по объему работ рассчитывается на весь объем выполненных работ).

$$k_{Ci} = \frac{C_{\Pi i}}{C_{\Phi i}}, \quad (3)$$

где  $k_{Ci}$  – коэффициент выполнения плана по себестоимости  $i$ -го вида деятельности;

$C_{\Pi i}$  – плановая себестоимость  $i$ -го вида деятельности;

$C_{\Phi i}$  – фактическая себестоимость  $i$ -го вида деятельности.

На втором этапе рассчитывается обобщающий коэффициент выполнения плана по себестоимости с использованием средней взвешенной арифметической (в качестве долей выступают удельные веса каждого вида деятельности в общем объеме выполненных за период работ), а также коэффициенты выполнения плана по объему работ, по производительности труда, по фондовооруженности труда, индексу инноваций.

На третьем этапе проводится оценка весовых коэффициентов частных показателей (ко-

торые были рассчитаны на предыдущем этапе) экспертным методом. Результаты расчетов можно представить в виде таблицы 2.

*Таблица 2 – Расчет интегрального показателя эффективности деятельности предприятия*

Частные показатели эффективности деятельности предприятия	Обозначение	Формула расчета	Весовые коэффициенты	Расчетные значения	Взвешенные значения
1 Обобщающий коэффициент выполнения плана по себестоимости	$k_c$	$\sum_{i=1}^n w_{ci} k_{ci}$			
2 Коэффициент выполнения плана по объему работ	$k_o$	$O_{\phi} / O_n$			
3 Коэффициент выполнения плана по производительности труда	$k_{пт}$	$\Pi_{т\phi} / \Pi_{тп}$			
5 Коэффициент выполнения плана по фондовооруженности труда	$k_{\phiв}$	$\Phi_{\phi\phi} / \Phi_{\phiп}$			
6 Индекс инноваций	$k_{рп}$	$P_{п\phi} / P_{пп}$			
			1		

Условные обозначения:

$w_{ci}$  – удельный вес каждого вида деятельности в общем объеме выполненных за период работ;

$n$  – количество видов деятельности;

$O_{\phi}, O_n$  – фактический и плановый объем работ;

$\Pi_{т\phi}, \Pi_{тп}$  – фактическая и плановая производительность труда;

$\Phi_{\phi\phi}, \Phi_{\phiп}$  – фактическая и плановая фондовооруженность труда;

$P_{п\phi}$  – фактическое количество внедренных рационализаторских предложений;

$P_{пп}$  – план по внедрению рационализаторских предложений.

На четвертом этапе осуществляется расчет интегрального показателя эффективности деятельности предприятия по формуле (2).

Таким образом, при 100%-ом выполнении плана по всем показателям интегральный показатель  $k$  будет равен 1. То есть предприятие получит заслуженную норму рентабельности  $R_H$  ( $R_{\phi} = R_H$ ). Перевыполнение плана по какому-либо показателю автоматически приведет к увеличению фактической нормы рентабельности (но не выше  $R_B$ ), а невыполнение, соответственно, к снижению.

Далее выполняют расчет трансфертной цены услуг предприятия по формуле:

$$TC = C(1 + R_{\phi}) - L = C(1 + R_H k) - L = C \left( 1 + R_H \sum_{i=1}^n w_i k_i \right) - L, \quad (4)$$

где  $L$  – непроизводительные расходы.

По видам деятельности, имеющим аналоги на рынке и осуществляемым как для собственных нужд, так и для сторонних потребителей расчет трансфертных цен основан на рыночных, уменьшенных на величину расходов, связанных с продажей аналогичного товара на рынке. Выручку по ПВД предлагаем перечислять на расчетные счета структурных подразделений, открытые по месту их нахождения, для финансирования их текущей и инвестиционной деятельности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Хомутов, В. Как использовать трансфертные цены для управления компанией / В. Хомутов // Финансовый директор. -2004. -№7/8.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** показатели эффективности деятельности, трансфертные цены  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Ерофеева Вера Арсеньевна, докт. экон. наук, профессор ФГОУ ВПО «ПГУПС»  
 Новосельская Светлана Александровна, ведущий бухгалтер Северо-Западный региональный общий центр обслуживания ОАО «РЖД»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 190031, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 9, ФГОУ ВПО «ПГУПС»  
 190031, Г. Санкт-Петербург, наб. реки Фонтанки, 117, Северо-Западный региональный общий центр обслуживания ОАО «РЖД»

## **ПРИНЦИПЫ, МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ ПОСТОЯННОГО УЛУЧШЕНИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ**

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

**Э.В. Злобин**

**PRINCIPLES, METHODS AND APPROACHES OF CONSTANT IMPROVEMENT OF MANAGERIAL PROCESSES BY QUALITY IN THE EDUCATIONAL ORGANIZATIONS**

«Tambov state technical university»

Ed.V. Zlobin

In article principles, methods and approaches of constant improvement of managerial processes by quality intended for perfection of administrative activity, in the educational organizations are considered.

*Keywords: quality management, benchmarking, constant improvement, management of processes, the educational organization*

Рассмотрены принципы, методы и подходы постоянного улучшения процессов управления качеством предназначенные для совершенствования управленческой деятельности, в образовательных организациях.

В настоящее время в образовательных организациях широко исследуются принципы, методы и подходы к управлению качеством и его улучшению.

Это связано с тем, что в новых социально-экономических условиях управление образовательными организациями невозможно без: управления качеством; управления рисками; нормативного финансирования; управления с опорой на гибкие динамичные стандарты и гарантированные нормативы; социально-экономического прогнозирования и стратегического планирования с учетом сиюминутных запросов рынка; социального партнерства; новых информационных технологий; рациональной расстановки кадров надлежащей квалификации, распределения обязанностей; установления связей между подсистемами и управления этими связями; всестороннего анализа и контроля с целью принятия оперативных управленческих решений, направленных на корректировку либо скорейшую ликвидацию имеющихся недостатков.

Удовлетворение вышеуказанных требований совершенствования управленческой деятельности, нацеленной на развитие образовательных организаций возможно только с помощью принципов и специальных, методических подходов, дающих возможность поднять на должный уровень эффективность образовательных организаций.

Что касается принципов управления качеством то в настоящее время можно говорить о том, что образовательные организации по сути дела используют основные принципы известной системы тотального управления качеством (TQM), к числу которых относятся:

- активное руководство качеством со стороны первых лиц и администрации образовательной организации;
- организация работ образовательной организации, исходя из запросов потребителей и реакции общества на его деятельность;
- выбор стратегии и политики в области качества, направленных на постоянное совершенствование и достижение результатов, обеспечивающих стабильную работу образовательной организации;
- создание систем качества с учетом рекомендаций международных стандартов ИСО 9000, дополненных опытом лучших образовательных организаций, с применением критериев национальных и Европейских премий по качеству;
- непрерывное повышение квалификации персонала и вовлечение его в работу по улучшению качества;
- обеспечение необходимыми ресурсами с минимальными запасами и их рациональное использование;
- информационно-аналитическое обеспечение работ в области качества;
- эффективное управление всеми процессами, происходящими в образовательной организации;
- внедрение сертификации продукции и систем качества на основе глобального подхода к испытаниям и сертификации, отслеживание и выполнение действующего законодательства в области качества.

А вот методы всегда базировались на подходах. Поэтому рассмотрим, какие существу-

ют подходы постоянного улучшения качества в образовательных организациях.

Концепция и методы постоянного улучшения процессов управления качеством в образовательных организациях направлены на осуществление крайне быстрого, «прорывного» улучшения в рамках единичного процесса. Работа по улучшению процессов начинается с концентрации внимания на определении, понимании и улучшении мероприятий, протекающих в рамках основных процессов. Улучшение приводит в целом к снижению затрат, длительности цикла и уровня ошибок. Согласно этой концепции, организация достигает значительных успехов в улучшении деятельности путем анализа сотен мероприятий и задач с целью оптимизации общих показателей деятельности за относительно короткий период времени [1].

Концепция улучшения базируется на 4-х различных подходах, направленных на повышение производительности, эффективности и адаптируемости процессов управления качеством:

- Методика быстрого анализа решения (FAST);
- Бенчмаркинг процесса;
- Перепроектирование процесса;
- Реинжиниринг процесса.

Кроме четырех прорывных подходов улучшения качества существуют и другие.

Так в теории управления организациями вообще и образовательными в частности выделяют следующие подходы, основные идеи которых представляют интерес для организации управления процессами, в том числе и качеством: выделение школ в управлении; процессный; системный; программно-целевой; ситуационный.

Выделение школ в управлении предполагает использование наблюдения, формулирования гипотезы и верификации (подтверждения гипотезы). Системная ориентация обеспечивает возможность рассматривать образовательную организацию как открытую систему. Моделирование позволяет принимать объективные управленческие решения при использовании созданных для этих целей моделей [2].

Такое, управление, реализующее преимущества данного подхода, ориентируется на применение теории игр, представляющей собой моделирование оценки воздействия принятого управленческого решения, теории очередей (модель оптимального обслуживания), модели управления ресурсами, имитационного моделирования, экономического анализа.

Процессный, или функциональный, подход, развивающий теорию социального управления, находит широкое применение и в современных условиях.

Что касается процессного или функционального подхода, то здесь управление качеством рассматривается, как последовательность взаимосвязанных непрерывных действий, направленных на обеспечение успеха организации в области качества. Такие действия определены как управленческие функции. Поэтому процесс управления представляется как совокупность, как общая сумма таких функций.

Системный подход, в отличие от процессного подхода, подчеркивает взаимозависимость отдельных частей образовательной организации, а также взаимозависимость организации и окружающей среды. Применение теории систем позволяет рассмотреть образовательную организацию в единстве составляющих ее частей, которые также неразрывно переплетаются с внешним миром, и содействовало интеграции вкладов всех подходов к организации управления качеством, доминировавших в разные периоды времени в теории и практике управления.

Системный подход – это способ мышления по отношению к организации и управлению, придающий наибольшее значение целому и ориентирующий субъекта управления на оптимизацию управляемой системы, ее общих характеристик. Систему при этом представляют как некоторую целостность, состоящую из взаимозависимых частей, каждая из которых вносит вклад в характеристики целого. При этом улучшение, совершенствование целого рассматривается как предпосылка и условие улучшения и совершенствования его частей (подсистем и элементов).

Под воздействием системного подхода происходило формирование программно-целевого подхода (программный подход, целевое управление), содержащего три основные процедуры:

- определение целей и их упорядочение в соответствующей иерархической системе («дерево целей»);
- выработку комплексных программ развития организационно-обособленных комплексов

сов социальной деятельности;

- формирование специфических организационных структур.

Основным положением программно-целевого подхода является корректное определение цели. Целеполагание предполагает сопоставление и корректирование предварительно определяемой цели с целями других вертикально и (или) горизонтально расположенных систем. В этом моменте важным является оценка возможностей ее реализации.

Ситуационный подход, предполагающий использование возможностей прямого приложения науки к конкретным ситуациям и условиям, также является вкладом в развитие теории управления. Центральным звеном данного подхода является ситуация – конкретный набор обстоятельств, существенно влияющих на деятельность организации в данное конкретное время. Признаваемое в этом случае ведущее положение ситуации подчеркивает значимость роли «ситуационного мышления» субъектов управления.

В последние годы многие организации уделяют значительное внимание идее тотального управления качеством (Total Quality Management – TQM). В нем кроме достижения качества результата также подчеркивается необходимость использования внутренних резервов системы. Акцент делается на ценности человеческих отношений и человеческого потенциала.

Анализируя рассмотренные методы, подходы и принципы постоянного улучшения процессов управления качеством в образовательных организациях можно сделать следующие выводы:

1 Методы и подходы постоянного улучшения процессов управления качеством формируются на основе идей концепций управления системами вообще и управления образовательными организациями в частности;

2 В современных подходах постоянного улучшения процессов управления качеством проявляется тенденция комплексной реализации прорывных идей, программно-целевого управления и методов, ориентированных на управление процессуальной стороной процесса;

3 Значительное влияние в управлении образовательными организациями приобретает философия тотального (всеобщего) управления качеством, позволяющая системно и целостно охватывать управление качеством всех сторон деятельности таких организаций.

4 При решении проблем управления образовательными организациями вообще и в частности управления в них качеством целесообразно, в зависимости от вида и сложности решаемых задач, использовать их комплексно как наиболее общее теоретическое основание.

5 Применительно к образовательным организациям, базисная методология подходов к управлению качеством, предлагаемая современными российскими и зарубежными учеными и практиками, в целом совпадает с общепринятыми принципами управления качеством.

Кроме того, из рассмотренных подходов постоянного улучшения процессов управления качеством в образовательных организациях видно, что наиболее приемлемым и отвечающим требованиям сегодняшней практики является системный.

Поэтому при постоянном улучшении процессов управления качеством в образовательных организациях необходимо:

- ориентироваться на реализацию системного подхода;
- максимально учитывать внутренние резервы образовательной организации;
- обеспечить как оптимальное функционирование, так и развитие качества образовательной организации;
- оптимизировать организационную структуру управления.
- осуществлять комплексное применение вышеуказанных подходов к управлению;
- проводить максимальный учет внутренних резервов образовательной организации;
- обеспечить при проектировании не только оптимальное функционирование организации, но и ее развитие.

Анализ различных моделей систем управления качеством показал, что технологические решения улучшения процессов управления качеством в образовательных организациях необходимо ориентировать на:

- разработку стратегии развития образовательной организации;
- создание новой динамичной организационной структуры управления, включающей определение компонентов этой структуры и их положения относительно друг друга, установление взаимосвязи компонентов и обеспечение реализации «развивающей» стратегии и

взаимодействия;

– переход от субординационного принципа организации управления на доминирование организации горизонтального координационного типа, объединяющей равноправные и равнозависимые компоненты на базе самоорганизации и саморазвития;

– оптимальное сочетание функционально-линейных структур управления качеством с ситуационным подходом к управлению;

– обеспечение целостности управленческих функций в рамках управленческого цикла;

– адресность управляющих воздействий, определение объектов и субъектов управления, четкое разграничение полномочий, прав, обязанностей и ответственности субъектов управления;

– сочетание различных методов материальной и социальной мотивации и волевого управления, организационного воздействия, экономических, воспитательных, организационно-распорядительных, психолого-педагогических методов управления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кирисов, С.В. Теория и практика применения процессного подхода к управлению качеством деятельности организации: монография / С.В. Кирисов. -Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. -80 с.

2 Федоров, В.А. Инновационные технологии в управлении качеством образования / В.А. Федоров, Е.Д. Коллегова; под ред. Г.М. Романцева. -Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2002. -176 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *управление качеством, бенчмаркинг, постоянное улучшение, управление процессами, образовательная организация*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Злобин Эдуард Викторович, канд. экон. наук, начальник отдела ГОУ ВПО «ТГТУ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106, ГОУ ВПО «ТГТУ»*

## АРКТИЧЕСКИЕ АМБИЦИИ НАТО

Кыргызский национальный университет им. Ж. Баласагына

**Р.У. Амираев**

### **NATO ARCTIC AMBITIONS**

«Kyrgyz national university named J. Balasagyn»

R.U. Amiraev

The problems relating to plans of NATO in the Arctic. Particular attention is paid militarization Arctic.

*Keywords: petroleum, gas, Arctic, Russian Federation, NATO, militarization*

Рассмотрены проблемы, касающиеся планов НАТО в Арктике. Особое внимание уделено милитаризации Арктики.

Многие аналитики, в том числе российские, полагают, что важным азимутом мировой политики в XXI веке станет Арктика. Не случайно, в последние годы на страницах ведущих мировых СМИ арктические сюжеты муссируются практически ежедневно. Непременным фактором в этих сюжетах, наряду с США, Канадой, Норвегией и Данией, выступает Россия. Богатые арктические месторождения углеводородов, доступность которых увязывается с процессами глобального потепления, подтверждают тезис о том, что «ресурсный фактор» является одним из основных элементов, влияющих на мировую политику. Огромное значение энергоресурсов в современном мире вызывает обострение, как скрытого, так и открытого противоборства между ведущими державами за контроль над ними [1, С. 41]. И хотя, по мнению аналитиков, климатические изменения позволят начать геологоразведку и промышленное освоение отдельных частей Арктики с 2020 г., соперничество за полярные области уже непреложный факт [2].

Уже сегодня в Арктике тлеют уголья межгосударственных конфликтов, прежде всего, между приполярными странами. В политической повестке дня несколько серьезных проблем, которые ждут своего решения. В частности, не улажены российско-американские разногласия по поводу раздела арктических владений и экономической зоны в Беринговом про-

ливе. Существуют противоречия между Норвегией, Российской Федерацией и другими государствами по статусу Шпицбергена и границ прилегающей к нему экономической зоны. Не урегулированы противоречия между Канадой и Данией, Канадой и США, Данией и РФ, Канадой и РФ. Свои арктические амбиции не скрывают Великобритания, Китай и другие государства. Научные прогнозы, касающиеся углеводородных и биологических ресурсов Арктики, вносят новую интригу в межгосударственные отношения.

В мировую прессу вбрасывается масса предсказаний и прогнозов о взаимоотношениях приполярных и третьих стран в Арктическом регионе. Влиятельный германский еженедельник «Шпигель» в одном из своих номеров за 2009 г. писал: «По мере того, как глобальное потепление растапливает арктические льды, страны, чьи территориальные воды граничат с Арктикой, ведут политические баталии за контроль над ресурсами, скрывающимися под толщей воды и льда и поигрывают мускулами» [3]. Есть аналогичные свидетельства с верхних этажей власти. Так, главнокомандующий американскими вооруженными силами в Европе адмирал Джеймс Ставридис, выступая в октябре 2010 г. на семинаре в Кембридже по проблемам безопасности окружающей среды в Арктике, заявил следующее: «Сегодня разногласия на Севере решаются мирным путем. Но климатические изменения могут опрокинуть в предстоящие годы равновесие в гонке за эксплуатацию все более доступных природных ресурсов. Больше того: может начаться новая «холодная война» [4]. Адмирал призвал мировых лидеров объединить свои усилия по сохранению Арктики как зоны сотрудничества, но не конкуренции – или хуже того – конфронтации. Однако ситуацию осложняет то, что адмирал уже неоднократно высказывал приверженность статье 5 соглашения о создании альянса 1949 г., согласно которой, нападение любого третьего государства на одну из стран НАТО автоматически расценивается как агрессия, направленная против всего блока [5]. Пессимистические прогнозы делают видные политологи и международники, в том числе западные. Большинство прогнозов напрямую увязывается с дефицитом природных ресурсов в ближайшем будущем, прежде всего, углеводородов. Конечно, конфликты возможны на другой почве, но, по-видимому, ресурсные конфликты будут преобладать. Среди адептов этой точки зрения, например, Дж. Модельски и У. Томпсон [6].

Тревожное для России обстоятельство – арктические амбиции НАТО. В российских академических кругах, за известными исключениями, в целом прижился многократно доказанный тезис о глобальных амбициях альянса, возглавляемого Соединенными Штатами Америки. Секрет Полишинеля, что распад мировой социалистической системы и ее военно-политической структуры – «Варшавского пакта» обесмыслил дальнейшее сохранение и существование Северо-Атлантического блока в прежнем амплуа. Конечно, НАТО под влиянием новых реалий претерпело трансформацию. Например, ликвидирована рассчитанная во времена «холодной войны» на противостояние с СССР система линейной обороны. Сокращены структуры военного управления в Европе. Вместо 65 штабов осталось 20. Только по действующему первоначальному Договору об ОВСЕ вооруженные силы НАТО сократили свой общий потенциал примерно на 17 тыс. единиц тяжелых вооружений. Существенно сокращена численность армий стран альянса: в ФРГ – в 2 раза, в Польше – в 3,5 раза, в Чехии – в 4 раза, в Болгарии – в 3 раза и т.д. Из Европы выведено примерно 150 тыс. американских военнослужащих, то есть около 60% от их количества в начале 1990-х гг. [7]. Но как отмечала Н.К. Арбатова, альянс не завершил своей реформы и остался, по сути, военным блоком, хотя и с некоторыми новыми миссиями, которые, кстати, не все хорошо выполняет [8. С. 3-21].

НАТО скорректировало стратегическое видение своей роли. Тому способствовали два фактора. Во-первых, поиск оснований своего существования, во-вторых, изменение среды безопасности. Поэтому повестка деятельности НАТО существенно расширилась. Новые цели и задачи альянса были определены в Лондонской декларации 1990 г. [9]. НАТО заявило о своем намерении сохранить европейскую безопасность, сократить стратегические ядерные потенциалы стран-членов альянса и уровень обычных вооружений. Планировалось также установить широкий политический диалог с третьими странами, большинство которых на тот момент являлись бывшими противниками. Стратегическая концепция НАТО, принятая в 1991 г., сформулировала условия обеспечения безопасности, включая реагирование на «многоплановые» и «разносторонние» риски и нестабильности, которые могли возникнуть вследствие серьезных экономических, социальных и политических сложностей [10, С. 92]. Доминантой новых подходов к вопросам безопасности стала политика «открытых дверей» и принятие в состав альянса новых членов.

В 90-г. XX века и первое десятилетие нынешнего политика расширения и некоторые другие элементы деятельности НАТО стали определяющими факторами, которые провоцировали конфликты между Россией и Западом. Речь идет, прежде всего, о расширении НАТО и его влиянии на европейскую безопасность. Процесс расширения НАТО не закончился, что подтвердил ноябрьский саммит НАТО 2010 г. в Лиссабоне, принявший Стратегическую концепцию по обороне и безопасности государств-членов [11]. «НАТО держит открытой дверь для всех европейских демократий, отвечающих стандартам членства, так как расширение способствует построению единой, свободной и мирной Европы» – говорится в Стратегии [12]. Но чтобы успокоить Россию, подчеркивается стремление установить с ней подлинно стратегическое партнерство. НАТО, дескать, будет действовать соответствующим образом, ожидая взаимности со стороны России. В Стратегии отчетливо сформулирована ставка, при необходимости, на военную силу: НАТО будет размещать сильные вооруженные силы, где и когда это потребуется, для обеспечения безопасности своих государств-членов [12].

Важнейшим военно-стратегическим последствием расширения стало перемещение военной инфраструктуры НАТО в восточном направлении. Сегодня несколько натовских военных баз расположены непосредственно на российских границах. С 2004 г. истребители НАТО на законном основании базировались в небе над Прибалтийскими странами, а Калининградская область оказалась в плотном окружении новых членов альянса [13, С. 28]. Вступление в Североатлантический союз прибалтийских государств делает подлетное время американских крылатых ракет равным 6-7 минутам. Для потерявшей в прошлом столетии почти треть своего населения России такая степень уязвимости – большое психологическое испытание [14, С. 131].

Фактором раздражения для России являются претензии НАТО на роль универсального инструмента обеспечения глобальной безопасности. Нынешний Генсек НАТО Расмуссен, выступая в Католическом университете Лиссабона, заявил, что НАТО не нуждается в войсках, находящихся в казармах; альянсу нужны вооруженные силы, которые можно будет перемещать на большие расстояния, где они могут пребывать сколь угодно долго [15]. Анализ новой Стратегии НАТО доказывает, что альянс готов решать собственными силами самые различные глобальные проблемы: распространение ядерного оружия и других видов оружия массового поражения; терроризм; трафик оружия, наркотиков, людей; киберпреступность; экстремизм; дефицит воды; последствия глобального потепления и т.д.

Было бы сенсацией, если бы НАТО осталось безучастной к возможностям Арктики, в том числе военно-стратегическим. Собственно, альянс никогда не скрывало своих интересов в данном регионе. На Северо-западном театре военных действий ОВС НАТО находится акватория западной части Баренцева моря и архипелаг Шпицберген. Расширение НАТО в Арктике фактически означает отказ от признанных мировым сообществом границ операционных зон ОВС блока, установленных документами 1949-1953 гг., которые в северной Норвегии не выходили за пределы норвежских территориальных вод, а в северной Атлантике – за пределы северных границ Норвежского и Гренландского морей. Как заявил в интервью английской «Дейли Телеграф» министр обороны «теневое кабинета» Ли Фокс, «4 из 5 стран, борющихся за Арктику – это члены НАТО, и мы должны быть уверены, что НАТО обладает желанием и возможностями, чтобы не допустить действий России в Арктике, идущих вразрез с международными соглашениями».

В январе 2009 г. в Рейкьявике обсуждались вопросы исследования ресурсов региона, защиты национальных интересов приарктических государств. Фактически же НАТО объявило о новом своем приоритете: борьба за ресурсы в глобальном масштабе. Руководители блока не скрывали, что основными факторами сохранения и развития военно-политического потенциала являются политическое состояние мирового сообщества, оперативно-стратегическая обстановка, а также запасы и распределение ресурсов на глобальном уровне [16, С. 47]. Показательны высказывания бывшего Генерального секретаря НАТО Я. Схеффера, объявившего Арктику объектом стратегических интересов альянса и одновременно площадкой для урегулирования спорных вопросов между США, Канадой, Данией и Норвегией. На саммите НАТО в Бухаресте также ставился вопрос о превращении альянса в инструмент энергетической безопасности, что усиливает его потенциальную роль в решении проблем Арктики. США со своей стороны дали понять, что они не останутся бесстрастными наблюдателями действий России, которые в США считаются самозахватом. Генсек НАТО Расмуссен неоднократно подчеркивал, что безопасность в Арктике станет ключевым вопросом новой стратегии альянса.

Тревожное обстоятельство для России вызвано также сильным давлением альянса в пользу членства Финляндии и Швеции. В самих этих странах оживились пронаатовские силы. Так, в январе 2009 г. в правительственном докладе о политике Финляндии в области обороны и безопасности не исключается возможность вступления страны в альянс. В случае успеха задуманного политического демарша, геополитическое и геостратегическое положение России ухудшится. Границы НАТО и, вне всякого сомнения, военные структуры альянса будут соседствовать со стратегически важными территориями России,

Одним из последствий вхождения Финляндии и Швеции в НАТО будет дальнейшая милитаризация региона. В последние годы существенно возросло число российских, американских и норвежских судов, а также российских самолетов, находящихся на боевом дежурстве в морском и воздушном пространствах Арктики. Так, в 2008 г. российская стратегическая авиация совершила 87 вылетов в этом регионе. США и Норвегия отреагировали усилением деятельности средство ПВО по перехвату российских самолетов [16, С. 47]. Усиливают свое военное присутствие в Арктике США. Уже многие годы атомные подводные лодки США с базы ПЛАБ в Кингс-Бей и базы ПЛАБ Барнгор (штат Вашингтон) несут боевое дежурство в Северном Ледовитом океане и Северной Атлантике. В регионе находится свыше 5 военных объектов, включая базы ВВС США в Анкоридже и Фэрбенксе. Принято решение о строительстве двух новых передовых баз береговой охраны в Барроу и Номе.

Форсирует меры по защите своих суверенных прав в Арктике Канада. Еще в 1999 г. в стране была создана межведомственная рабочая группа по безопасности Арктики (The Arctic Security Inter-departmental Group). Ее задача заключается в координации мероприятий федеральных и местных властей. В них участвуют различные ведомства Канады: Министерство национальной обороны, Агентство по защите окружающей среды, Канадская королевская конная полиция, Служба береговой охраны, Таможенная служба, Канадская служба безопасности и разведки, Министерства по делам индейцев и развития Севера, Министерства иностранных дел и внешней торговли [17, С. 49].

Западные страны вынашивают планы создания совместных морских сил быстрого реагирования, ледокольного флота, амфибийного подразделения, сил гражданской обороны по борьбе с природными и техногенными катастрофами, объединенной системы подготовки необходимых кадров. Продолжается широкомасштабная разведывательная деятельность против России. В Арктике постоянно присутствуют иностранные военные корабли и самолеты, которые могут быть использованы в качестве стартовых платформ высокоточного оружия.

Увеличиваются частота и масштаб военных учений в Арктике. В январе 2009 г. под эгидой НАТО состоялись крупномасштабные учения саперов-взрывотехников у побережья Северной Норвегии. В учениях приняли участие представители Норвегии, Швеции, Дании, Литвы, Германии, Нидерландов, Франции, Бельгии, Эстонии и Турции. Команды обучались для действий в суровых зимних условиях. В 2008 г. Канада провела в Арктике крупнейшие учения. Две подводные лодки США типа Лос-Анджелес: «Helena» и «Annapolis» участвовали в учениях в районе Северного полюса «Ice Exercise-2009», на которых отрабатывались оперативные действия в Арктике по обеспечению безопасности научных исследований.

Совершенствуется боевая техника и вооружение арктических государств НАТО. Норвегия в ближайшее время введет в строй последние два новейших фрегата (из пяти). В составе ВМФ Норвегии с 2007 г. числятся современные патрульные суд проекта «Номен», предназначенные действовать в условиях севера страны. Страна закупает крупную партию американских самолетов «Joint Strike». На канадском Севере усиливается военная составляющая. Канада, в частности, намерена построить для Арктики 6-8 сильно вооруженных патрульных судов [18], превратить бухту в Нанисивике (острова Баффина) в военно-морскую базу и создать тренировочный центр в бухте Резолюта (остров Корнуэлл) – оба находятся в восточной части Северо-Западного прохода. Таким образом, наземные и военно-морские силы Канады впервые будут дислоцироваться на постоянной основе на Севере. Улучшается их техническое оснащение. Например, канадские рейнджеры оснащаются биноклями, фотокамерами, приемниками GPS. Для наблюдений в арктическом секторе страны будут использоваться спутники, беспилотные летательные аппараты, высокочастотные наземные радары, надводные и подводные акустические системы.

Россия, в свою очередь, принимает меры по обеспечению своих национальных интересов в Арктике [19]. В частности, будут модернизированы стратегические бомбардировщики (ТУ-95М, ТУ-160, ТУ-22М3), а в состав Северного флота войдут три АПЛ проекта «Борей».

По сообщениям российских СМИ, планы боевой подготовки Военно-морского флота России будут учитывать фактор присутствия в Арктике кораблей Североатлантического альянса. Прежде всего, речь идет о планах наиболее сильных флотов РФ - Северного и Тихоокеанского. Приоритетом руководства РФ в Арктике будет защита национальных интересов, что будет осуществляться с использованием атомных подводных лодок. В поле зрения ВМФ РФ постоянно будут находиться все северные морские границы страны.

Исключительное значение при реализации политики России в арктическом регионе приобретает инновационное развитие страны, что рассматривается политической элитой страны как условие преодоления технологического отставания от Запада, диверсификации экономики. Одна из серьезных задач России – создание современных вооруженных сил страны, способных решать сложные задачи на различных направлениях и возможных театрах боевых действий. Особая роль отводится военно-морским силам России. В одном из своих выступлений премьер-министр России В. Путин отметил: «Мы можем, в состоянии решать задачи любой сложности на самом современном технологическом уровне. Такой же качественный рывок нужно совершить и в военном судостроении. Абсолютно необходимо в самые сжатые сроки разработать долгосрочную программу его развития. Она должна опираться на объективные потребности флота, учитывать задачи, которые перед ним стоят сегодня, или на базе прогноза возникнут в перспективе не менее, чем 30 лет. Это – как минимум» [20, С. 67]. Не трудно предположить, что такие задачи ставятся и в формате арктических интересов России.

Как мы видим, циркумполярным государствам не чужды шаги по милитаризации Арктики, наращиванию в регионе своего военного потенциала, в том числе за счет новейшего ракетного, авиационного и морского оружия. Скорее всего, милитаризация Арктики продолжится, и вряд ли здесь можно установить режим демилитаризации, аналогичный тому, который применяется в Антарктике [21, С. 477].

Но тогда возникает вопрос: можно ли предотвратить развитие событий в Арктике по худшему сценарию? Будут ли молчать пушки в случае обострения межгосударственных отношений? Проявят ли политические и военные руководители приарктических государств благоразумие? Казалось бы, определенные надежды есть. Мы имеем в первую очередь общее состояние отношений между Россией и Западом. В частности, страны-члены НАТО Германия, Франция и Италия установили хорошие и плодотворные отношения с Россией. Между ними реализуется ряд интересных экономических и энергетических проектов, увеличивается взаимный товарооборот. Потеплели отношения между Россией и США. В президентство Б. Обамы произошла так называемая «перезагрузка» российско-американских отношений. Удалось решить ряд существенных вопросов в сфере противоракетной обороны, сокращения стратегических вооружений, борьбы с международным терроризмом, противодействия планов создания ракетно-ядерного потенциала Ирана и Северной Кореи. Но политика Б. Обамы встречает сильную оппозицию со стороны политических противников, особенно в рядах республиканцев. «Перезагрузка» может оказаться временным феноменом, повернуть вспять. Поэтому не исключена возможность, что с приходом к власти республиканцев в межгосударственных отношениях начнется откат к худшему, демонтаж уже достигнутых соглашений. Ничего экстраординарного, не логичного в этом предположении нет. Напомним, что на протяжении последних десятилетий, включая, разумеется, советский период, аналитики фиксировали череду «оттепелей» и «заморозков» между странами. Если проект «Союз-Аполлон», договоры СНВ-1 и СНВ-2 и т.д. олицетворяли прогресс межгосударственных отношений, то «звездные войны» Р. Рейгана, проект создания противоракетной обороны в Польше и Чехии Буша-младшего и прочее отражали интересы и жесткую линию американских «ястребов». Некоторые российские политологи справедливо указывают, что, к сожалению, в американском истеблишменте до сих пор сильны позиции тех людей, которые взойшли на политический Олимп еще в период «холодной войны», стратегического противоборства двух ядерных сверхдержав. Для этих людей характерны политико-идеологические стереотипы, в том числе навеянные живучим образом «русского медведя», который некогда раздувался американскими специалистами в области кремленологии, советологии. Такой «кадровый» состав американской политической элиты во многом определяет зигзагообразность российско-американских отношений. Колебания российского вектора американской политики, естественно, сказываются на умонастроениях российской элиты, которая порой делает очень жесткие внешнеполитические заявления в адрес США и НАТО. Например, мюнхенская речь В.В. Путина. Своего рода индикатором антиамериканизма в России явля-

ется общественное мнение страны. Оно далеко отошло от американофильских настроений начала 90-х гг. прошлого века. «Бремя вины» за антиамериканизм россиян в значительной мере лежит на самих США.

Таким образом, освоение новых энергетических и транспортных возможностей Арктики в условиях глобальных климатических изменений может принять остроконфликтную форму между циркумполярными государствами, прежде всего, между Российской Федерацией и странами НАТО. Есть вероятность второго издания «холодной войны», когда линия разделения пройдет не через европейские страны, а через высокоширотные арктические территории. Арктика может превратиться в главный театр политической конфронтации, а в самом худшем и нежелательном варианте – даже вооруженных столкновений. Прогнозируемым последствием конфронтации станет гонка вооружений и регресс в вопросах ограничения наступательных ядерных систем. Дegradiрует вся система обеспечения глобальной и региональной безопасности, в последние годы получившей осязаемые политико-правовые контуры. Гонка вооружений и «холодная война» крайне отрицательно скажутся на экономическом развитии России, скорее всего, сорвут планы модернизации страны, приведут к огромным непроизводительным материальным и финансовым затратам. Сценарий «холодной войны» невыгоден также странам Запада. Пожинать лавры победителей, как это было в конце 80-х – начале 90-х гг. прошлого века, им не придется. Сегодня в мире накопилось множество проблем, требующих коллективных решений, эффективного партнерства всего мирового сообщества. Поэтому во всех смыслах гораздо целесообразнее заняться решением актуальных проблем мировой политики и международных отношений. Чтобы предотвратить сценарий «холодной войны», по нашему мнению, российская дипломатия должна проявлять максимальную гибкость во взаимоотношениях со странами Запада, искать разумные компромиссы, в том числе в энергетической сфере. Российское бизнес-сообщество должно предлагать западным партнерам выгодные транснациональные проекты, которые способствовали бы углублению взаимодоверия, предотвратили бы обострение отношений между государствами. Западные страны, со своей стороны, должны пойти навстречу России в тех сферах, которые являются предметом ее обоснованного беспокойства, включая налаживание стратегического партнерства в вопросах противоракетной обороны, обычных вооружений в Европе, стратегии НАТО и прочее.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Денчев, К. Мировая система энергетической безопасности: история и перспективы / К. Денчев // Новая и новейшая история. -2010. -№2. -С. 41.
- 2 Независимая газета. 24.06.2009.
- 3 Der Spiegel, 13.09.2009.
- 4 BarentsObserver. Cross-border News. 10.12.2010.
- 5 Этот военно-политический рефрен неоднократно повторялся на саммите НАТО в Лиссабоне в ноябре 2010 г. See: Strategic Concept For the Defence and Security of The Members of the North Atlantic Treaty Organisation. Adopted by Heads of State and Government in Lisbon. November 2010. -Режим доступа: <http://www.nato.int/lisbon2010/strategic-concept-2010-eng.pdf>.
- 6 Modelski, G. The Long and Short of Global Politics in the Twenty-first Century: policy Development Group (NEPDG). -National Energy Policy / G. Modelski, W. Tompson. -Washington. - Режим доступа: [newsland.ru/News/Detail/id/449508](http://newsland.ru/News/Detail/id/449508). 17.05.
- 7 Келин, А.В. О расширении НАТО и интересах безопасности России / А.В. Келин // Европейская безопасность: события, оценки, прогнозы: бюллетень / ИНИОН РАН. -2004. - Вып. 12.
- 8 К новой архитектуре европейской безопасности // Мировая экономика и междунар. отношения. -2010. -№11. -С. 3-21.
- 9 London Declaration on a Transformed North Atlantic Alliance. 5-6.07.1990. -Режим доступа: [www.nato.int/docu/comm/49-95/c900706a.htm](http://www.nato.int/docu/comm/49-95/c900706a.htm)
- 10 Тузовская, Н.Ю. Трансформация НАТО: от концепции к практике? / Н.Ю. Тузовская // Мировая экономика и междунар. отношения. -2008. -№3. -С. 91-101.
- 11 Strategic Concept for the Defence and Security of The Members of the North Atlantic Treaty Organisation. Adopted by Heads of State and Government in Lisbon. November 2010. - Режим доступа: <http://www.nato.int/lisbon2010/strategic-concept-2010-eng.pdf>.
- 12 Ibidem.

13. Антошин, С. На ком лежит ответственность за военную безопасность России? / С. Антошин // Власть. -2004. -№11. -С. 28.

14 Уткин, А. Зачем Россия Америке? / А. Уткин // Междунар. процессы. -2004. -Т.2, -№2(5). -С. 131.

15 NATO – Managing Security in a Globalised World. Speech by Secretary General of NATO Anders Fogh Rasmussen at the Catholic University of Lisbon, Portugal. November 2010.

16 Конышев, В. Арктика на перекрестке геополитических интересов / В. Конышев, А. Сергунин // Мировая экономика и международные отношения. -2010. -№9. -С. 47.

17 Володин, Д.С. Канада: проблемы суверенитета в Арктике / Д.С. Володин // США и Канада. Экономика. Политика. Культура. -2006. -№12. -С. 49.

18 Address by Minister Cannon at Launch of Statement on Canada's Arctic Foreign Policy. No.2010/57 -Ottawa, Ontario - August 20, 2010.

19 Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу // Рос. газета. -2009. -30 марта.

20 Нужна долгосрочная программа развития ВМФ: из вступит. слова Пред. Правительства Рос. Федерации В.В. Путина на совещ. по вопр. «Об обеспечении оборонно-пром. комплексом нового облика Вооружен. Сил РФ соврем. образцами вооружений и воен. техники для Военно.-мор. флота», 18 дек. 2009 г., Санкт-Петербург, ОАО «Адмиралтейские верфи» // Рос. воен. обозрение. -2010. -№1 (январь). -С. 67.

21 Международное публичное право /отв. ред. К.А. Бекяшев. -М., 2005. -С. 477.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** нефть, газ, Арктика, Российская Федерация, НАТО, милитаризация

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Рахмат Убайдуллаевич Амираев, канд. полит. наук, доцент Кыргызский НУ им. Ж. Баласагына

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 720033, Кыргызстан, г. Бишкек, ул. Фрунзе, 547, Кыргызский НУ им. Ж. Баласагына

## НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ДОРОЖНОЙ СЕТИ И ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА В ГОРОДАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

ГОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

ООО Научно-инновационный центр «Индукционное машиностроение»

Г.И. Бурдакова, М.А. Дмитриева

DIRECTION OF THE ROAD NETWORK AND URBAN TRANSPORT IN THE CITIES OF THE FAR EAST

«Komsomolsk-on-Amur state technical university»

«Induction mechanical engineering»

G.I. Burdakova, M.A. Dmitrieva

Some general factors urban transport and road networks in cities of the far East. Proposed key actions for optimizing the transport infrastructure of the city and urban passenger transport.

*Keywords: urban passenger transport, bandwidth, optimization of transport structures*

Приведены общие факторы развития городского транспорта и дорожной сети в городах Дальнего Востока. Предложены основные мероприятия по оптимизации транспортной инфраструктуры города и городского пассажирского транспорта

Транспортная инфраструктура города – один из наиболее важных факторов, оказывающих существенное влияние на доходность городской земли, интенсивность застройки территорий, экологическое состояние среды и, в конечном счёте, на комфортность и безопасность проживания населения.

Экспертные оценки показывают, что в настоящее время в городах Дальнего Востока складываются примерно одинаковые факторы в сфере городского транспорта и дорожной сети. Преимущества - разнообразие видов общественного транспорта; широкое использование частного пассажирского транспорта на городских маршрутах; развитый частный автомобильный транспорт. Недостатки: плохое состояние дорожного покрытия; высокая степень изношенности муниципального транспорта; несоответствие дорожно-транспортной сети грузовым и пассажирским потокам [1, С. 125-130; 2, С. 253-258; 3, С. 205-210].

Возможности развития городского транспорта и дорожного хозяйства эксперты связывают, прежде всего, со следующим: улучшением покрытия городских автомобильных дорог, строительством путепроводов и развязок; осуществлением радиальной схемы развития города. Опасности видятся в сокращении муниципального транспорта из-за его физического и морального износа.

Во много раз возросла интенсивность движения на магистральных улицах. Существующие городские транспортные сети исчерпывают свою пропускную способность, они не обеспечивают равномерное распределение потоков автотранспорта, что приводит к большому сосредоточению автомобилей на центральных улицах.

Недостатком существующей системы внешних автомобильных дорог, подходящих к городам, является отсутствие рационального сочетания внешних и городских путей сообщения. Транзитное для города автомобильное движение, связанное с перемещением грузов, часто проходит через город и совмещено на городской уличной сети с местным городским движением. Нарушается важнейшее требование обеспечения безопасного и удобного ввода в город транспортного потока и беспрепятственного пропуска транзита с присущими ему высокими скоростями в его обход. Ухудшается экологическая обстановка в городе.

Пропускная способность существующей магистрально-дорожной сети многих городов в настоящее время близка к пределу. Дальнейший рост числа личных автомобилей, подвижного состава общественного транспорта обуславливает еще большее возрастание транспортных потоков. Поэтому в городе необходимо вводить двухканальную транспортную систему. Одни транспортные связи служат задачам развития городских территорий, другие – для быстрого преодоления расстояний в пределах города. Они являются взаимоисключающими, поэтому все улицы города должны быть разделены в зависимости от тех задач, решению которых они служат. Соответственно и мероприятия дорожного строительства для улиц с разными функциями кардинально отличаются.

Для развития территорий, приносящих доход, необходимы мероприятия которые обес-

печат максимальный приток людей к каждому объекту, расположенному на этой территории. Это мероприятия по созданию максимально частой сетки улиц на территориях городских ядер, четких связей с центральным ядром всех иных развивающихся ядер, достаточного количества парковочных мест для легкового транспорта, а также по обеспечению снижения скорости движения транспорта, насыщению всевозможными видами общественного транспорта, созданию системы площадей.

Для обеспечения быстрого преодоления расстояний необходимы мероприятия, обеспечивающие исключение помех для свободного движения транспорта: строительство дорожных развязок на разных уровнях; сокращение низкоскоростного общественного транспорта; уменьшение количества пересечений улиц и др.

В связи с продолжающимся ростом количества индивидуального легкового автотранспорта должна решаться проблема его хранения. В районах новой капитальной застройки необходимо строительство встроенных в дома стоянок, многоэтажных стоянок манежного типа, а также использование рельефа для строительства гаражей боксового типа.

Городской пассажирский транспорт (ГПТ) общего пользования является важнейшим элементом транспортной системы, обеспечивающей ежедневную транспортную подвижность населения. В последние годы в городах сформировались негативные устойчивые тенденции ограничения доступности и снижения качества транспортного обслуживания жителей. Муниципальные предприятия городского пассажирского транспорта находятся под влиянием нарастающей конкуренции со стороны частных предприятий и индивидуальных предпринимателей. Рост числа легковых автомобилей в личном пользовании существенно осложняет условия работы подвижного состава пассажирского транспорта на магистральной городской сети.

Основными проблемами ГПТ являются высокий износ подвижного парка, недостаток квалифицированного персонала, высокая напряженность работы водителей, неустойчивое финансовое положение транспортных предприятий, в том числе по причине работы на линиях частных перевозчиков, не имеющих лицензий. Частично решить эти проблемы может открытие учебного пункта для подготовки водителей автобусов, внедрение единой городской диспетчерской службы с использованием GPS-передатчиков для монитора транспортной ситуации на дорогах, введение в автобусах магнитных карточек и считывающих устройств. В целях оптимизации транспортной сети необходимо проводить статистические исследования пассажиропотока на маршрутах общего пользования, результаты которых должны закладываться в планы развития транспортной системы города на ближайшую перспективу, на срок 10 лет и на срок генерального плана (20 лет).

Конкурентоспособность ГПТ будет определяться, прежде всего, уровнем качества его услуг и ценовой доступностью для основной массы населения. Появление множества операторов должно сопровождаться созданием равных независимо от форм собственности условий их функционирования.

Проведение реформы городского пассажирского транспорта требует реализации ряда принципов. Прежде всего, необходимо разделение управления системой ГПТ и непосредственного выполнения перевозок. Являясь собственником городской транспортной инфраструктуры и маршрутной сети, а также имея все необходимые закрепленные федеральным законодательством полномочия, городская администрация несет полную ответственность за организацию транспортного обслуживания населения города. Местная власть сама выбирает модель его реформирования, реализуя принцип конкурентности. Должно происходить постепенное выравнивание уровней транспортной обеспеченности города на основе единых социальных стандартов. Необходимы федеральная и региональная поддержка реформ, в том числе за счет субсидий и грантов, применение финансовых механизмов, ограничивающих использование личных автомобилей и стимулирующих развитие организованных перевозок.

Стратегия развития ГПТ должна обеспечить существенное повышение его качества. С точки зрения пассажира, ГПТ должен восприниматься как надежная и скоростная, легкая и удобная в использовании, действующая по единым тарифам и правилам транспортная среда. В этой связи, как в строительстве, так и в эксплуатации, общественный транспорт должен иметь абсолютный приоритет в пассажирских перевозках. Любой проект реконструкции улиц обязан в первую очередь обеспечивать улучшение условий для пассажиров общественного транспорта (обособленные полосы, удобные пересадки и др.).

Неотвратимый процесс автомобилизации горожан, в целом позитивный, имеет и нега-

тивную сторону: увеличивается интенсивность движения на магистральной сети города, а территорий для хранения (при существующих способах хранения) личного автотранспорта не хватает. Необходима система мер, нейтрализующая негативные и сохраняющая позитивные последствия автомобилизации населения. Требуется рациональная транспортная планировка территории города, что позволит обеспечить возможность выбора передвижения личным или общественным транспортным средством, при этом различия в качестве перевозок будут минимальными.

Альтернативой росту числа личных автомобилей в городе должно стать более интенсивное использование общественного транспорта. Необходима реформа общественного транспорта, направленная на обновление парка автомобилей и создание эффективных механизмов регулирования его работы. Так, следует повысить уровень организации дорожного движения путем внедрения систем автоматизированного управления, маршрутного ориентирования с оснащением городских магистралей информацией о возможных маршрутах. Особого внимания заслуживает ограничение въезда автомобильного транспорта в центр города.

Реализация предложенных мероприятий позволит создать в городах технологически прогрессивную, социально и экономически эффективную, обеспечивающую комфорт жителей и гостей города, устойчиво функционирующую систему городского пассажирского транспорта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Заусаев, В.К. Стратегический план устойчивого развития города Хабаровска до 2020 года / В.К. Заусаев, С.П. Быстрицкий, Г.И. Бурдакова. -Хабаровск: Издательский дом «Приамурские ведомости», 2007. -144 с.

2 Заусаев, В.К. Управление стратегическим развитием промышленного центра: монография / В.К. Заусаев, В.П. Михалев, Г.И. Бурдакова, В.В. Литовченко; отв. ред. Е.Н. Галичанин. -Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2010. -373 с.

3 Стратегический план развития городского округа «Город Южно-Сахалинск» на период до 2020 года: [Электронный ресурс]. –Режим доступа: [http://www.ferim.ru/russ/main\\_work.html](http://www.ferim.ru/russ/main_work.html).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *городской пассажирский транспорт, пропускная способность, оптимизация транспортной структуры*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Бурдакова Галина Ивановна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «КНАГТУ»  
Дмитриева Мария Анатольевна, экономист ООО НИЦ «ИНМАШ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ГОУ ВПО «КНАГТУ»  
630188, г Новосибирск, ул. Станционная, 38, ООО НИЦ «ИНМАШ»*

## ДИНАМИКА РЕЧНОГО ПОТОКА НА ПОВОРОТЕ В АСПЕКТЕ ЛОКАЛЬНЫХ БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**В.А. Хмелев**

**THE DYNAMICS OF RIVER FLOW AT A BEND IN THE ASPECT OF LOCAL BANK PROTECTION MEASURES**  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
V.A. Khmelev

Features of the dynamics of river flow at the turn of the channel as factors to be considered in bank protection works.

*Keywords: open stream dynamics, river flow, stream-channel erosion, bank erosion, bank-protection, transverse circulation*

Особенности динамики речных потоков на повороте русла как факторы, которые необходимо учитывать при берегозащитных работах.

Теория и прямые наблюдения гидравлической структуры потока показывают, что основную роль несимметричного воздействия на ложе русла играют те внутренние поперечные замкнутые течения, которые при известных условиях возникают в потоке и, складываясь с общим продольным течением, придают потоку не параллельно-струйный, а расслоенный

или винтообразный характер. Наиболее простым и наглядным примером может служить течение в изогнутом русле (рисунок 1).

При движении потока жидкости по руслу, изогнутому в плане, на все частицы жидкости действуют центробежные силы, стремящиеся отбросить эти частицы по направлению радиусов, то есть от выпуклого берега к вогнутому. У поверхности потока продольные скорости течения больше, чем у дна, а потому и величина центробежных сил будет не одинакова: поверхностный слой с большей силой отбрасывается к вогнутому берегу, опускается здесь вниз и отжимает придонный слой, испытывающий меньшие центробежные силы, к выпуклому берегу: у последнего донный, насыщенный наносами, слой воды поднимается к поверхности. Таким образом, в изогнутом русле наряду с общим продольным течением возникают поперечные течения, придающие всему движению потока винтовой характер. Другими словами, поток в изогнутом русле расслаивается, поверхностная часть его отклоняется в одну сторону, придонная часть – в другую (рисунок 2).

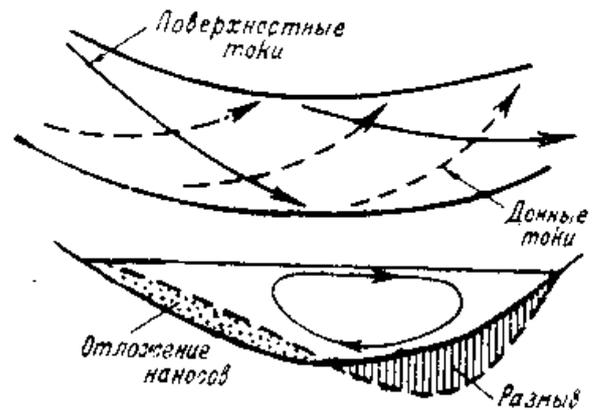


Рисунок 1 – Естественная поперечная циркуляция в изогнутом потоке

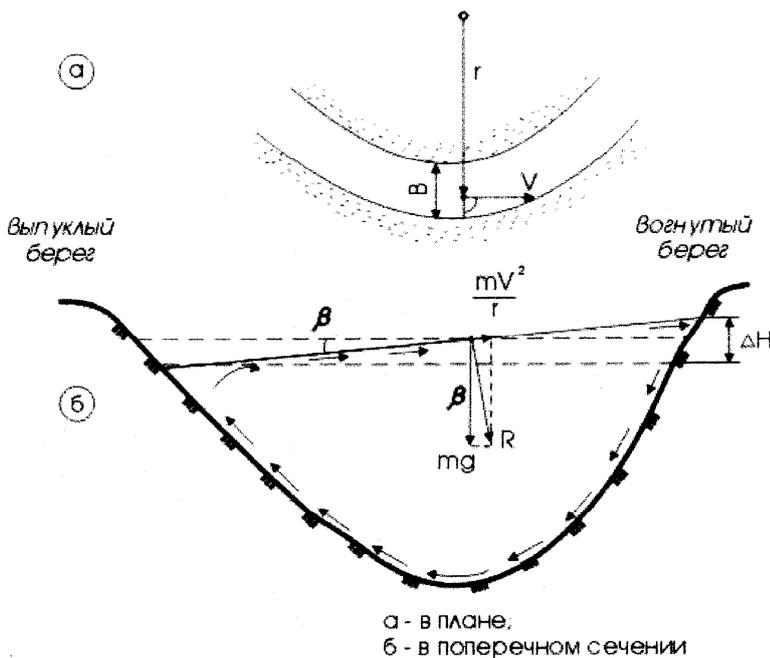


Рисунок 2 – Схема образования циркуляционного поперечно течения под воздействием центробежной силы на повороте русла

наносов остается только та часть области поворота, где основной поток воды после набегания на вогнутый берег опускается на дно и, следуя вдоль подвалья гряды, создает донное винтовое течение, вдоль гребня образованной песчаной гряды (рисунок 3). По этой гидравлической схеме формируется большинство потоков на повороте естественных русел, и неучет возможности почти полного занесения наносами всей области поворота с формированием в качестве «живого сечения» только небольшой затененной части у вогнутого берега приводит иногда к неблагоприятным последствиям при эксплуатации водозаборов. Примером такого неудачного проекта является крупный водозабор на р. Обь в г. Барнаул, работа которого регулярно обеспечивается землечерпанием.

Циркуляционные течения, возникающие на поворотах извилистого русла много и подробно изучались на гидравлических моделях известными исследователями русловых процессов. Среди них можно назвать А.Я. Миловича, И.Л. Розовского, Н.И. Маккавеева,

М.В. Потапова, А.И. Лосиевского, В.В. Дегтярева и др. [2, 4-6]. Однако четкие характеристики трасс циркуляционных течений и их скорости, полученные в лабораторных условиях, никогда не встречались на естественных излучинах больших и средних рек.

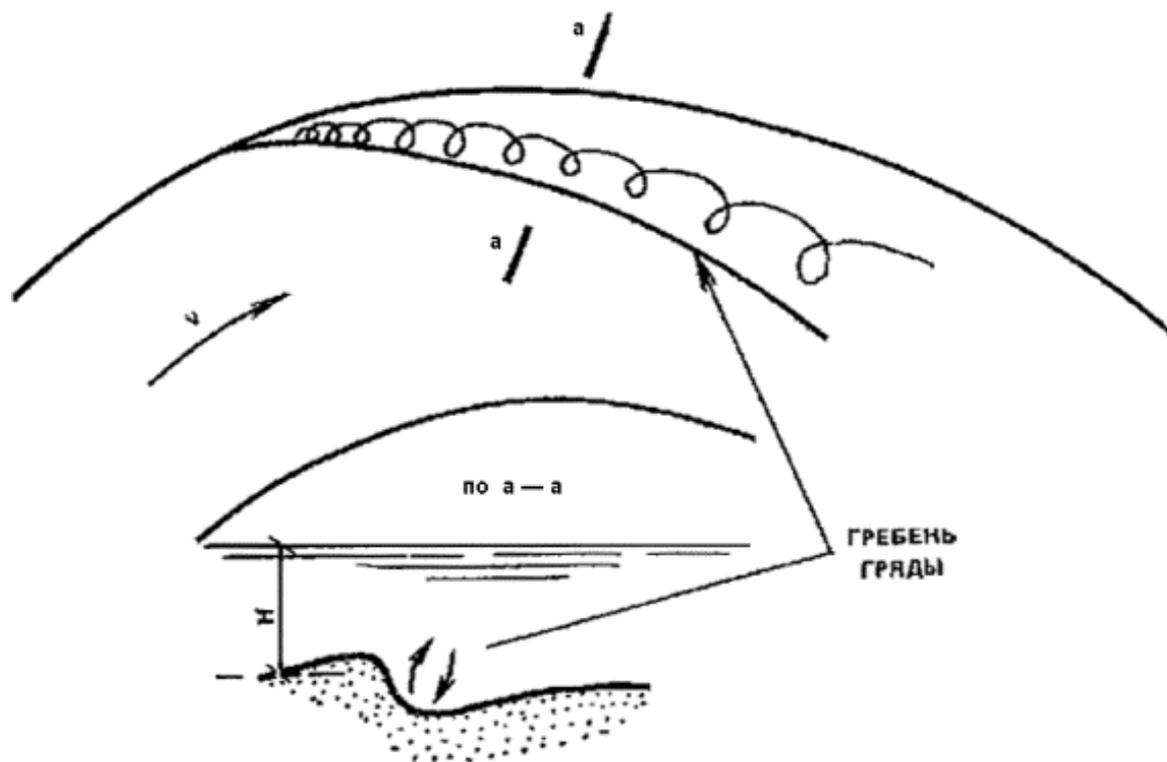


Рисунок 3 – Структура руслового потока на повороте русла при избытке донных наносах

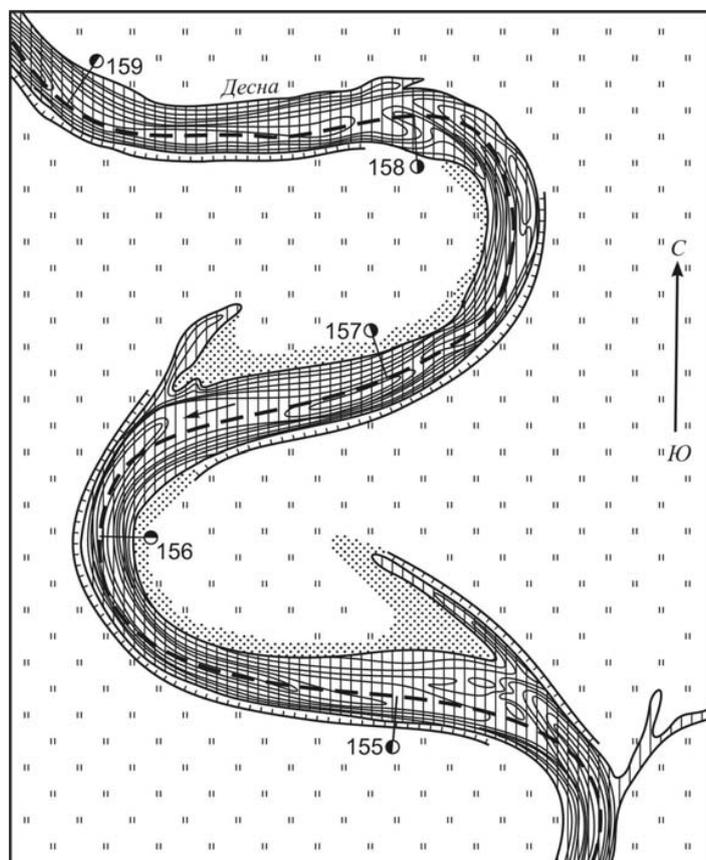


Рисунок 4 – Излучины равнинной реки (р. Десна)

На малых реках, подобных Туре, циркуляционные течения наблюдались по всей ширине русла, но значений создающихся при циркуляции водных масс поперечных уклонов не слишком отличались от продольных. Фактическая разница была в десятки раз меньше, чем в лабораторных опытах, а зачастую они практически совпадали по ширине реки. Поэтому при анализе закономерностей русловых потоков влияние циркуляции не следует преувеличивать. На повороте даже однорукавного русла максимальные значения продольного уклона возникают у выпуклого берега, где происходит интенсивное перемещение наносов по длине русла реки и может происходить размыв не меньший, чем разрушение вогнутого берега.

На больших и средних реках циркуляционные течения затухают далеко от противоположного берега, не достигая его. По данным М.И. Тер-Аствацатряна [5], циркуляция полностью затухает на расстоянии 27-30 глубин потока, считая от конца поворота. В.Е. Тимонов, изучая описание рек Нидерландов, пришел к выводу, что признаки циркуляции не прослеживаются ниже расстояния по

прямому участку, равному 1,5 ширины русла от границы поворота [4].

Еще сложнее и противоречивее закономерности руслового потока на больших реках, где образовались многочисленные острова, осередки и отмели. Еще в конце XIX века, гениальный инженер путей сообщения В.Г. Клейбер утверждал, что регулирование русла широкой реки надо рассматривать с учетом расслоения потока в плане и по глубине, с конкретизацией индивидуальных особенностей ветвей течения, не распространяя схему дноуглубительных и выправительных работ на всю ширину реки. Жаль, что выступление Клейбера на съезде «деятелей по водяным путям» осталось неизвестным даже узким специалистам [7].

В свое время, Н.И. Маккавеев доказал, что ширина винтообразного течения не превышает 15-20 глубин [6]. В более широком русле поток делится на несколько автономных ветвей с разделенными динамическими осями. Еще раньше к таким же выводам пришел М.В. Потапов [7]. И.Ф. Карасев предложил критерий сохранения потоком формы компактной струи, имеющей размеры всего русла

$$4,5 > \frac{B}{h_p} \sqrt{\frac{2g}{C}},$$

где  $B$  – ширина русла при руслоформирующем расходе;

$h_p$  – средняя глубина при том же расходе;

$C$  – коэффициент Шези.

Р.С. Чалов, развивая взгляды Н.И. Маккавеева, пришел к заключению, что наносы, переносимые циркуляционными течениями, не могут образовать большую отмель у берега, противоположному тому, где возводятся регуляционные сооружения. В условиях, когда критерий квазиоднородности не соблюдается, приходится даже на однорукавной реке использовать иную схему выправления, что осуществлялось В.В. Дегтяревым на реках Туре, Тоболе и Конде [2].

Из последних капитальных работ в области русловедения нельзя не упомянуть энциклопедическую монографию Р.С. Чалова «Речные излуины» [3]. В этом труде он пишет, что замкнутое циркуляционное винтообразное течение возникает только в реке, у которой ширина русла и его глубина соизмеримы между собой. Практика природных русловых изысканий в Ленском бассейне, на реках Яне и Индигирке [4], многолетний мониторинг русловых процессов МГУ и НГАВТ на Лене, Оби, Иртыше, Алдане и других реках подтверждают эту информацию и отмеченную в ней противоречивость измерений, выполненных во время природных изысканий и в процессе лабораторного гидравлического моделирования русловых процессов.

Разницу между результатами природных наблюдений и лабораторных опытов можно объяснить большой кинетичностью потока в лабораторном гидравлическом лотке с геометрически правильным сечением. Так, число Фруда для средней Лены не превышает 0,03, а в лабораторных опытах он достигает значений 0,2-0,5.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Водные пути бассейна Лены. -М.: МИКИС, 1995. -600 с.
- 2 Дегтярев, В.В. Улучшение судоходных условий сибирских рек / В.В. Дегтярев. -М.: Транспорт, 1987. -176 с.
- 3 Чалов, Р.С. Речные излуины / Р.С. Чалов, А.С. Завадский, А.В. Панин. -М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 2004. -372 с.
- 4 Маккавеев, Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне / Н.И. Маккавеев. -М.: Изд-во АН СССР, 1955. -346 с.
- 5 Розовский, И.Л. Движение воды на повороте открытого русла / И.Л. Розовский. -Киев: Изд-во АН УССР, 1957. -188 с.
- 6 Русловые процессы и путевые работы на свободных реках. Вып.VIII: труды / ЦНИИЭВТ; Н.А. Доманевский [и др.]. -М.: Речиздат, 1956. -458 с.
- 7 Потапов, М.В. Регулирование водных потоков методом искусственной поперечной циркуляции / М.В. Потапов. -М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1947. -76 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *динамика открытых потоков, русловые процессы, разрушение берегов, берегозащита, поперечная циркуляция*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Хмелев Вячеслав Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

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

## МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ ПОДЗЕМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОПОР НА ОТТЯЖКАХ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.Ю. Кузнецов, К.В. Пичугин, С.В. Ивашкин,  
Ю.В. Демин, Е.Г. Алаев, Н.А. Сычева

### METHODS OF PROTECTION AGAINST CORROSION OF UNDERGROUND DESIGNS SUPPORT ON DELAYS

«Novosibirsk state academy of water transport»

A.Yu. Kuznetsov, K.V. Pichugin, S.V. Ivashkin, Yu.V. Demin, E.G. Alaev, N.A. Sycheva

For protection against corrosion of metal designs the greatest effect is given by coverings possessing barrier properties on the basis of powder polymeric materials. The coverings possessing combined properties in relation to the protected design (barrier, tread and wear-proof) are such.

*Keywords: U-shaped bolts, metal corrosion, methods of protection against corrosion*

Для защиты от коррозии металлических конструкций наибольший эффект дают покрытия обладающие барьерными свойствами на основе порошковых полимерных материалов. Такими являются покрытия, обладающие комбинированными свойствами по отношению к защищаемой конструкции (барьерными, протекторными и износостойкими).

Опираясь на знание механизма коррозии U-образных болтов и анкерных петель можно сформулировать основные принципы защиты узла крепления оттяжек для проектируемых и эксплуатируемых опор ВЛ.

Для проектируемых опор ВЛ с оттяжками может быть применен один из следующих методов защиты:

1 Вынос узла крепления оттяжек опор ВЛ в надземную часть.

2 Пассивные методы защиты:

– гидрофобная обработка грунта;

– полимерное покрытие;

– лакокрасочное покрытие;

– металлизация;

– комбинированное покрытие (например: цинк этилсиликатное).

3 Электрозащита:

– протекторная защита;

– катодная защита от блуждающих постоянных токов с помощью электродренажей.

Покрытия, обладающие комбинированными свойствами по отношению к защищаемой конструкции (барьерными, протекторными и износостойкими, могут быть получены при послойном нанесении порошковых полимерных материалов и наполнителей, обладающих протекторными свойствами или повышенной износостойкостью (песок, электрокорунд, стальная и чугунная дробь и т.п.).

При этом для каждой конкретной конструкции необходима доработка технологии с учетом особенностей конструкции, что относится к U-образным болтам и анкерным петлям.

Оценку эффективности применения катодной защиты узла крепления оттяжек может дать технико-экономическое обоснование.

Для эксплуатируемых опор в настоящее время используются следующие методы защиты:

– механическое усиление U-образных болтов и анкерных петель;

– пассивные методы защиты;

– электрические методы защиты.

В настоящее время из всех приведенных методов защиты можно выделить следующие:

Гидрофобную обработку грунта вокруг U-образных болтов и анкерных петель (способ можно рекомендовать в первую очередь для существующих конструкций) и вынос узла крепления оттяжек опор ВЛ в наземную часть (для проектируемых опор ВЛ на оттяжках).

*Метод гидрофобной обработки узлов крепления оттяжек опор.* Расчет коррозионных токов в системе «U-образные болты-анкерная петля», выполненный с помощью программы LKS показал, что анодная зона располагается на анкерной петле. На одну анкерную петлю на ВЛ-500 кВ заведено два U-образных болта. Следовательно, функции катода в этой сис-

теме выполняют U-образные болты. Из теории многоэлектродных электрохимических систем следует, что чем больше катодная поверхность, тем больше анодный ток.

В исследованиях показано, что образующаяся вокруг U-образных болтов «воронка аэрации» усиливает катодные функции и, тем самым, увеличивает анодный ток.

Для осуществления защиты от коррозии U-образных болтов и анкерных петель можно воздействовать либо на «катод», либо на «анод».

В настоящее время разработан целый комплекс пассивных методов защиты. Наиболее перспективным и эффективным считают нанесение на металлические конструкции полимерных порошков типа П-ЭП. Однако, их применение для узлов крепления оттяжек проблематично, так как коррозионная опасность вдоль трассы различна. В связи с этим использование по всей трассе U-образных болтов и анкерных петель покрытых полимерными порошками не всегда оправдано. Целесообразно разработать селективный метод защиты, который можно было бы применять по мере необходимости.

В этом плане предлагается воспользоваться методом гидрофобной обработки, разработанным для заземляющих спусков, и выполнять её для U-образных болтов.

С этой целью рассчитаем насколько эффективным может быть предлагаемый метод.

Для оценки тока неравномерной аэрации по поверхности узлов крепления оттяжек воспользуемся формулой Г.Г. Улига

$$i = i_0 \left( 1 + \frac{S_K}{S_A} \right),$$

где  $i_0$  – ток равномерной коррозии при отсутствии дифференциальной аэрации;

$S_K, S_A$  – значения катодной и анодной поверхностей на U-образных болтах и анкерной петле.

Наличие вибрации оттяжек опор под действием ветра обуславливает образование «воронки аэрации» вокруг U-образных болтов. Из-за этого зона подвода кислорода и дождевой влаги обогащенной кислородом приближается непосредственно к петле. Экспериментально показано, что глубина этой «воронки» достигает 1,8-1,9 м. Именно поэтому уровень опасности коррозии петель анкерных плит не совпадает с оценкой опасности коррозии по физико-химическим параметрам грунта.

Учитывая изложенное, рассчитаем изменение анодных токов на U-образных болтах и анкерных петлях при наличии «катодов» на U-образных болтах в пределах «воронки аэрации» (1,8 м) и в случае, если в «воронку аэрации» ввести гидрофобный материал обладающий диэлектрическими свойствами (керосин, отработанное трансформаторное масло и т.п.), который устранил катодную зону (таблица 1).

*Таблица 1 – Результаты расчета анодных токов на U-образных болтах и анкерных петлях при гидрофобной обработке*

«Воронка аэрации»	Площадь, м <sup>2</sup>		$S_K/S_A$	Увеличение тока $i$ по сравнению с $i_0$ , раз
	катода $S_K$	анода $S_A$		
1,8 м	1,205	0,09	13,38	14,38
гидроизолирована	0,120	0,09	1,30	2,30

На основании таблицы 1 можно сделать заключение о том, что гидрофобная обработка весьма эффективна и снижает коррозию в 6,25 раза.

При реализации метода гидрофобной обработки грунта вокруг U-образных болтов необходимо, чтобы диэлектрик удерживался по всей поверхности металла и, в тоже время, не загрязнял окружающей среды.

Этого можно достичь, используя разную длину (высоту  $h$ ) капиллярного передвижения трансформаторного масла в мелкодисперсном и грубодисперсном грунте

$$h = k/d,$$

где  $k$  – постоянный коэффициент, равный для трансформаторного масла  $k = 3,51$ ;

$d$  – диаметр капилляра.

В таблице 2 приведены расчеты капиллярного поднятия трансформаторного масла в различных грунтах.

Таблица 2 позволяет сделать вывод о том, что для устранения загрязнения окружающей среды маслом необходим грубодисперсный грунт (например, песок). Для среднего диа-

метра капилляра в песке масло может передвигаться всего на 0,058 м. Таким способом устраняется загрязнение окружающей среды.

*Таблица 2 – Длина (высота) капиллярного передвижения масла в грунте*

Тип грунта	Размер частиц грунта, мм	Длина (высота $h$ ) капиллярного передвижения, м
Глина	0,003-0,05	1,5-4,5
Песок	0,1-0,5	0,058

Тонкодисперсный грунт (например, глина) обеспечит капиллярное поднятие масла до 4,5 м, что вполне достаточно при глубине «воронки аэрации» 1,8-1,9 м.

*Технология гидрофобной обработки U-образных болтов.* На первом этапе увеличивают размеры «воронки аэрации» раскачивая оттяжку. Затем образовавшийся канал диаметром 5-10 см засыпают до верха средне и крупнозернистым песком (размеры частиц 0,1-0,5 мм), увлажняют его водой. Вновь раскачивают оттяжку и образуют канал диаметром 2-3 см.

Далее приготавливают текучую смесь из грунта (глины с размерами частиц 0,003-0,05 мм) и отработанного трансформаторного масла или керосина. Приготовленную таким образом смесь заливают в полученный канал.

Способ прост в реализации и подразумевает избирательное применение при необходимости. Для его рационального использования необходима диагностика состояния узлов крепления оттяжек опор ВЛ.

Необходимо также отметить, что при всей эффективности данного метода защиты узлов крепления оттяжек с помощью жидких диэлектриков, не всегда удается покрыть ими всю поверхность U-образных болтов и, особенно, анкерных петель.

*Вынесение узла крепления оттяжек опор в надземную часть.* Поскольку грунт агрессивен к металлу оттяжек, то он, как правило, будет агрессивным и к железобетону свай.

В целом эффект защиты от коррозии металлических конструкций будет достигнут, так как атмосферная коррозия металла намного ниже подземной коррозии, особенно для чистой (сельской) атмосферы и относительной влажности воздуха менее 60%.

Однако, необходимо принимать меры по защите от коррозии места выхода железобетонных свай из грунта («шейная» зона разрушения от «физической» коррозии). В свою очередь, защиту железобетонных свай можно осуществить известным методом с помощью «объемных диафрагм».

Учитывая известные случаи неудовлетворительной работы U-образных болтов и анкерных петель опор ВЛ, при проектировании и строительстве ВЛ-500 кВ «Барабинск-Таврическая» (Западные электросети АК Омскэнерго) было решено вынести узел крепления троса оттяжек выше уровня грунта.

Как показали изыскания по трассе, из 362 км общей длины трассы, 300 км оказалось обводненными.

Грунты по трассе в большинстве своем представлены водонасыщенными суглинками и глинами (песчаные грунты встречены на длине 3 км). Удельное сопротивление грунта растеканию токов промышленной частоты имеет величину до 100 Ом·м на 340 км трассы (остальные 22 км имеют удельное сопротивление от 100 до 200 Ом·м).

Более одной трети длины трассы следует по грунтам, обладающим сульфатной (76 км) или углекислой (40 км) агрессивной почвой (грунт агрессивен к бетону). Исходя из отмеченных характеристик, в рабочем проекте был разработан узел крепления оттяжки, вынесенный над поверхностью грунта.

Заключение:

1 Учитывая большую экологичность и технологичность, в сравнении с грибовидными подножниками, в работе приняты сваи по 2, либо по 4 шт. под одну оттяжку – в зависимости от несущей способности грунта, и с установкой металлических ростверков.

2 Требования к качеству свай были предъявлены в соответствии с типовым проектом 12614 тм-т1 («Специальные вибрированные сваи фундаментов опор ВЛ, строящихся в Западной Сибири»). Это позволило использовать их в качестве естественных заземлителей. Вынесенные на поверхность металлические детали крепления оттяжек легко осматриваются при визуальном контроле ВЛ, и, при необходимости, легко прокрашиваются, что вполне обеспечивает их безопасную длительную и надежную эксплуатацию.

3 Поскольку грунты агрессивны к бетону, было рекомендовано повышать долговечность

железобетонных свай с помощью «объемных диафрагм». Если «объемную диафрагму» изготовить из материала прочного (с прочностью выше, чем у бетона) и коррозионно-стойкого, то это также позволит повысить механические характеристики железобетонных свай в заделке на уровне грунта (наиболее напряженное сечение).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *коррозия, оттяжки, опора, воздушная линия электропередачи, электромагнитная волна, анкерный узел*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Кузнецов Алексей Юрьевич, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Пичугин Константин Викторович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Ивашкин Сергей Владимирович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Демин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Алаев Евгений Георгиевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

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

## **РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ И ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ КОРРОЗИИ УЗЛА КРЕПЛЕНИЯ ОТТЯЖЕК ОПОР**

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

**А.Ю. Кузнецов, Б.В. Палагушкин, Ю.В. Демин,  
К.В. Пичугин, С.В. Ивашкин, Н.А. Сычева, Е.Г. Алаев**

### **WORKING OUT OF INFORMATION SYSTEM AND THE PROGRAM OF PROCESSING OF RESULTS OF MEASUREMENTS OF CORROSION OF KNOT OF FASTENING FROM-TJAZHEK SUPPORT**

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

**A.Yu. Kuznetsov, B.V. Palagushkin, Yu.V. Demin, K.V. Pichugin, S.V. Ivashkin, N.A. Sycheva, E.G. Alaev**

Program complex of gathering, storage and processing of results of inspection of a corrosion condition of elements delays of support aerial power line methods of a superficial electromagnetic wave and measurement of electric resistance on an alternating current of high frequency.

*Keywords: corrosion, delays, a support, aerial power line, an electromagnetic wave*

Программный комплекс сбора, хранения и обработки результатов обследования коррозионного состояния элементов анкерных узлов крепления оттяжек опор ВЛ методами поверхностной электромагнитной волны и измерения электрического сопротивления на переменном токе высокой частоты.

Программный комплекс предназначен для использования с приборами диагностики коррозионного состояния элементов анкерных узлов крепления оттяжек опор ВЛ (высокочастотным коррозиметром ВК-1.6-М и СВЧ коррозиметром КмПВ-А) для сбора, хранения и обработки результатов обследований.

*Требования к функциональным характеристикам программы.* В минимальной конфигурации комплекс должен содержать следующие модули:

- Базовый модуль пользовательского интерфейса;
- Модуль управления справочниками;
- Модуль администрирования;
- Модуль обмена информацией с прибором ВК-1.6-М;
- Модуль обмена информацией с прибором КмПВ-А;
- Модуль генерации отчетов по обследованным опорам;
- Модуль генерации протоколов обследований.

*Базовый модуль* должен быть реализован в виде исполняемого файла.

Функционально предназначен для:

- обеспечения интеграции остальных модулей системы в единую программную среду;
- поиска и просмотра информации о проведенных обследованиях.

Графический интерфейс пользователя должен быть представлен окном программы с основным меню и дублирующими кнопками. Количество и наименования пунктов меню должны отражать доступные пользователю модули. Также в основном окне должна отображаться таблица результатов обследований и поля ввода критериев поиска данных.

*Модуль управления справочниками.* Предназначен для просмотра и редактирования справочников линий, опор, приборов и бригад.

- Для работы с каждым из справочников предусмотрено отдельное диалоговое окно.

- Все диалоговые окна должны быть оформлены единообразно.
- Для каждого из справочников должны быть реализованы функции добавления, удаления и редактирования записи, импорт записей из \*.csv-файла.

*Модуль администрирования.* К функциям модуля относится централизованное хранение настроек всех модулей. Настройки должны храниться в файле, едином для всех пользователей и всех модулей системы. Необходимо реализовать следующие функции настройки:

- указание места хранения информации и параметров доступа к хранилищу;
- редактирование списка пользователей программы;
- установку и удаление дополнительных модулей;
- доступ к диалогам конфигурирования дополнительных модулей;

*Модули обмена информацией.* Предназначены для получения информации о проведенных обследованиях, проверки непротиворечивости полученных данных и сохранения их в базе данных программы. Пользовательский интерфейс модуля должен обеспечивать отображение хода процесса обмена информацией, настройку параметров соединения с коррозиметром, отображение информации о произошедших в ходе обмена ошибках.

При обнаружении противоречий в данных пользователю должна быть предоставлена возможность просмотреть и исправить ошибочные записи. При этом редактирование пользователем результатов измерений не допускается.

Также к функциям модуля относится формирование списка опор подлежащих обследованию и передача сформированного списка в коррозиметр.

Спецификации протоколов обмена с коррозиметрами приводятся в документации на соответствующий прибор.

*Модуль генерации отчетов по обследованным опорам.* Модуль предназначен для формирования и печати отчетов по проведенным обследованиям. В отчетах должна отражаться информация по количеству обследованных и не обследованных опор и отдельных узлов, статистическая информация по коррозионному состоянию обследованных узлов (как в виде оценок глубины коррозии, так и в виде исходных данных, полученных от приборов), табличные данные, отображающие состояние каждой индивидуальной опоры/узла, а также линий в целом.

Также должна быть предусмотрена возможность формирования документов, предусмотренных приложением 5 «Типовой инструкции по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35-800 кВ» РД 34.20.504-94, а именно:

- журнал учета работ на ВЛ;
- ведомость неисправностей, подлежащих устранению при капитальном плановом ремонте;
- месячный план-отчет работ на ВЛ;
- годовой план-график работ на ВЛ;
- годовой план-отчет работ на ВЛ.

Также необходимо обеспечить возможность предварительного просмотра отчетов перед печатью и сохранения сформированных отчетов в виде текстовых файлов.

*Модуль генерации протоколов обследований.* Модуль предназначен для формирования и печати протоколов обследований отдельных опор. Требуется обеспечить возможность предварительного просмотра протокола перед печатью и сохранения сформированного отчета в виде текстового файла.

*Требования к надежности программы.* Требуется обеспечить:

- ежедневное резервное копирование хранимых данных;
- автоматическое восстановление обмена после сбоя при передаче данных;
- время восстановления после сбоя основного ПО не более 1 часа.

*Требования к составу и параметрам технических средств программы.* Должно обеспечиваться нормальное функционирование программы на IBM PC совместимом компьютере со следующими минимальными характеристиками:

- операционная система: Microsoft Windows 2000/XP/2003/Vista/Seven;
- процессор Intel x86 тактовой частотой 1 ГГц или совместимый;
- объем доступной оперативной памяти 256 Мб;
- объем дисковой памяти 100 Мб;
- монитор с разрешением 1024×768;
- манипулятор «Мышь».

Для модуля обмена данными с коррозиметрами дополнительно

необходимо наличие 1 порта USB 1.1 или RS-232C.

Для модуля печати отчетов дополнительно необходимо наличие Ч/б принтера формата А4 установленного в системе Windows.

*Требования к информационной и программной совместимости:*

– Программа должна быть разработана на языке программирования Delphi для платформы Microsoft Windows.

– Требуется обеспечить модульную структуру программного комплекса, позволяющего подключать к системе модули без необходимости модификации исходного кода ПО.

– Доступ к аппаратным средствам должен осуществляться через стандартные интерфейсы ОС к драйверам, не входящим в разрабатываемое ПО.

– Хранение информации о проведенных обследованиях, справочников и данных о пользователях системы должно обеспечиваться средствами внешней реляционной БД, доступ к которой осуществляется через механизм ODBC.

– Обмен информацией с коррозиметрами должен осуществляться по протоколам, описанным в спецификациях соответствующих приборов.

Заключение: Программа соответствует заданным требованиям и была реализована при обработке данных на линиях Ермак-Омск (500 кВ), Экибастуз-Барнаул (1150 кВ).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *коррозия, оттяжки, опора, воздушная линия электропередачи, электромагнитная волна, анкерный узел*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Кузнецов Алексей Юрьевич, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Палагушкин Борис Владимирович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Демин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Пичугин Константин Викторович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Ивашкин Сергей Владимирович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Сычева Наталья Александровна, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Алаев Евгений Георгиевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

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

## **ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ р. ОБЬ НА УЧАСТКЕ НИЖНЕГО БЬЕФА НОВОСИБИРСКОЙ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

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

**Т.В. Пилипенко, Т.Н. Михайлова**

**THE INFLUENCE OF CLIMATIC CONDITIONS ON THE HYDROLOGICAL FEATURES OF THE OB RIVER IN THE AREA  
DOWNSTREAM OF THE NOVOSIBIRSK HYDROELECTRIC POWER STATION**

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

T.V. Piliipenko, T.N. Mikhailova

The research of the reasons of high-water flooding of the river Ob on the studied section is being conducted in the given article.

*Keywords: gauging, flooding, water logging, bank protection measures*

Проводится исследование причин затопления поймы р. Обь на рассматриваемом участке.

Начиная с последнего десятилетия прошлого века, активное распространение получила теория «Глобального потепления». Можно по-разному относиться к обоснованности выдвижения и создания данной теории, но существует доказанный факт существенного изменения климата на нашей планете, что сопровождается локальными всплесками тектонической активности и климатическими катастрофами. К наиболее сильным природным катаклизмам в 2010 году можно отнести: извержение вулкана Эйяфьятлайокудль в Исландии в апреле – мае; холода и снегопады в Южной Америке в июле; дожди и наводнения в Европе, Азии и Центральной Америке в мае и августе; жару и пожары в европейской части России и на Урале в июле – августе, а также аномально холодную зиму в сибирском регионе, где температура воздуха, начиная с середины ноября и заканчивая первой декадой марта, не поднималась выше отметки -28 °С.

Столица сибирского региона России – г. Новосибирск, расположен на 55° с.ш. на двух берегах реки Обь. Река Обь является одной из крупнейших рек России и земного шара; пер-

вой по площади бассейна и третьей по водоносности (после Енисея и Лены) рекой России. Образуется Обь слиянием рек Бия и Катунь на Алтае, пересекает с юга на север территорию Западной Сибири и впадает в Обскую губу Карского моря. Питание Оби смешанное: снеговое и ледниковое, преимущественно снеговое. Поэтому половодье ежегодно проходит двумя волнами.

Южнее и выше по течению города Новосибирск река перегорожена плотиной, образовавшей Новосибирское водохранилище, носящее название «Обское море». Оно является крупнейшим искусственным водоемом Западной Сибири. Общая площадь водосбора р. Обь в створе Новосибирского гидроузла составляет 211000 км<sup>2</sup>, из них около 19000 км<sup>2</sup> приходится на бассейн собственно водоема. Новосибирское водохранилище является водоемом сезонного регулирования стока, имеющим такое соотношение объема притока в водоем (52 км<sup>3</sup> в средний по водности год) и его полезной емкости (4,4 км<sup>3</sup>), при котором оно наполняется в любые по водности годы. Создание водохранилища преобразовало гидрологический режим реки. Одним из важнейших последствий этих преобразований явилось локальное изменение режима колебаний уровня воды в пределах зоны затопления и в нижнем бьефе (НБ) гидроузла.

На территории Новосибирской области, как и всего сибирского региона, зима 2009-2010 годов была очень холодной и сопровождалась обильными осадками. По данным метеорологов, глубина промерзания земли в данном регионе составила 3 м. Большое количество выпавших осадков в зимний период привело к катастрофически большому объему талых вод, и в весенне-летний период 2010 г. на р. Обь наблюдались наибольшие расходы воды за последние 40 лет (рисунок 1).

В результате совокупности этих факторов на территории г. Новосибирск и Новосибирской области сформировались условия затопления пойменных участков Оби и рек, принадлежащих ее бассейну.

На реке Обь у г. Новосибирск отмечают две волны половодья. Максимум первой волны наблюдается обычно в середине апреля-начале мая, он связан с таянием «своих» сибирских осадков, а максимум второй – в конце июня-начале июля, вызван таянием снегов и ледников Алтая. В июле начинается медленный спад уровня реки, устанавливается летне-осенняя межень, характеризующаяся повышенным (по сравнению с естественными условиями) стоком. Спад уровней продолжается вплоть до низкой зимней межени, которая начинается в конце октября-начале ноября и продолжается до начала подъема половодья.

Новосибирское водохранилище, как уже было отмечено, создавалось только для сезонного регулирования стока р. Обь и по своим параметрам не подходит для многолетнего регулирования стока. Емкость Новосибирского водохранилища оказалась недостаточна для полной задержки уже первой волны половодья 2010 г. Это вызвало повышение сбросных расходов в НБ в мае-июне. Во время прохождения второй волны Новосибирское водохранилище оказалось практически заполненным до нормального подпорного уровня (113,50 м БС). Это произошло в начале июля. Максимальный приток воды к створу Новосибирской ГЭС зафиксирован 30.07.2010 г. и составил 6789 м<sup>3</sup>/с. В это же время на Алтае наблюдался мощный дождевой паводок – 01.07.2010 г. за одни сутки в горах Алтая выпала половина месячной нормы осадков. Поэтому было принято решение увеличить сбросы в НБ до 5750 м<sup>3</sup>/с.

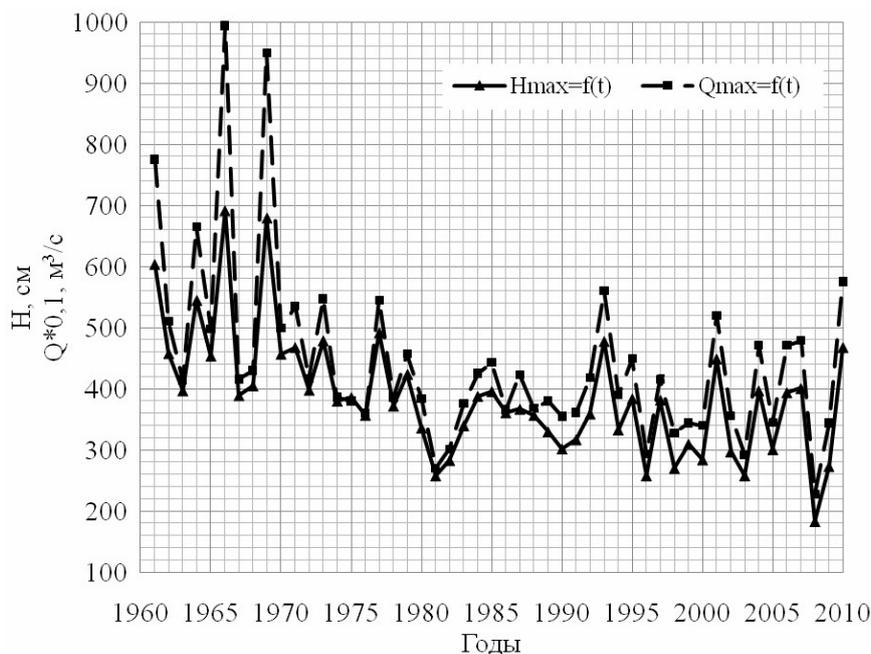


Рисунок 1 – Динамика максимальных уровней и расходов воды по г/п Новосибирск за 1961-2010 гг.

В результате уровни воды в Оби в районе г. Новосибирск 02.07.2010 г. повысились до максимальной отметки 97,20 м БС (468 см по гидропосту Новосибирск). Тем не менее, с приходом воды алтайского паводка и в водохранилище уровни выросли, и 05.07.2010 г. наблюдалась минимальная разница в 10 см между нормальным подпорным уровнем (НПУ) и фактическим уровнем воды в верхнем бьефе Новосибирского водохранилища (уровень воды в верхнем бьефе достиг 113,40 м БС).

Анализ данных о максимальных уровнях и расходах воды в НБ Новосибирской ГЭС за годы, прошедшие после заполнения водохранилища до проектных отметок (см. рисунок 1), показывает, что можно было бы ожидать и более высоких отметок затопления участков НБ.

Дело в том, что после введения ГЭС в эксплуатацию наблюдался размыв дна и посадка уровня воды в НБ, превышающие все предварительно сделанные прогнозы. Причем посадка уровня воды заметно возросла в 80-е годы, когда наблюдался наибольший расцвет добычи нерудных строительных материалов

(НСМ) из русловых карьеров, расположенных в черте города. Оценить понижение максимального уровня воды можно по кривым связи максимальных расходов и уровней, построенным за несколько десятилетий после введения ГЭС в эксплуатацию (рисунок 2). По этому графику также видно, что к 2000 г. уровни воды стабилизировались.

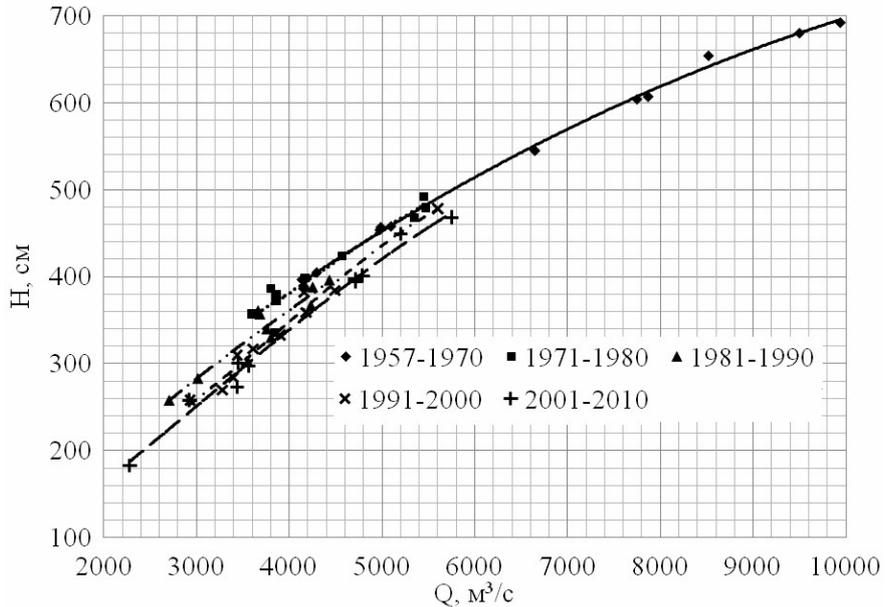


Рисунок 2 – График связи максимальных уровней и расходов воды по г/п Новосибирск за 1957-2010 гг.

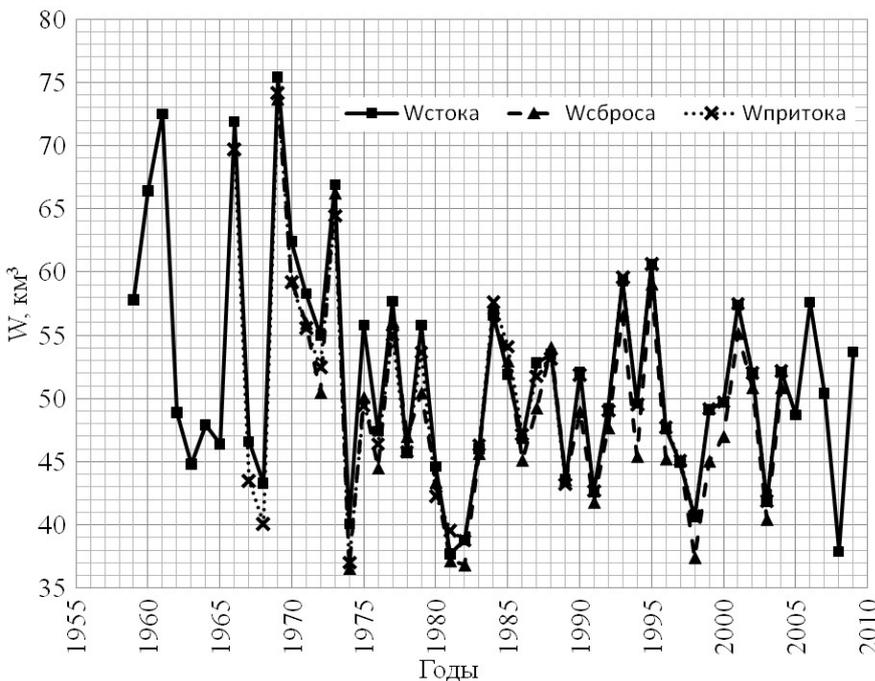


Рисунок 3 – Изменение объемов стока, притока в Новосибирское водохранилище и сброса в нижний бьеф за 1959-2009 гг.

Таким образом, не только по максимальному расходу воды, но и по уровням 2010 г. можно считать наиболее полноводным за период с 1970 г. Уменьшение уровней затопления поймы – это, пожалуй, единственный положительный результат в целом негативного для многих отраслей хозяйства процесса посадки уровней воды.

Понижение уровней воды в НБ – это следствие процесса развития глубинной эрозии, который способствовал изменению состава донных наносов на приплотинном участке. В результате тонкие и мелкие частицы были вымыты и обнажились подстилающие их коренные породы и

галечники. Песчаные наносы сохраняются здесь только в периферийных частях русла возле пойменных берегов, где они представляют собой продукты их размыва.

Делать вывод о водности года для рек с зарегулированным стоком только по расходам сброса и уровням в нижнем бьефе было бы не совсем правильно. Для более полной оценки необходимо проанализировать данные по объемам годового притока в Новосибирское водохранилище за многолетний период (рисунок 3).

На основании полученных данных и проведенного анализа, можно детально исследовать причины затопления поймы р. Обь, а также, в дальнейшем, принимать к рассмотрению несколько вариантов инженерной защиты на участке нижнего бьефа, и выбору наиболее оптимального комплекса работ.

Работа выполнена на правах Гранта Мэрии г. Новосибирска, договор №22-10 от 23.11.2010 г.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** гидропост, паводок, подтопление, берегозащитные мероприятия  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Пилипенко Татьяна Викторовна, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Михайлова Татьяна Николаевна, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## О НЕОБХОДИМОСТИ РАССМОТРЕНИЯ ВОПРОСА ОБ ИЗМЕНЕНИИ ОТМЕТОК ПРОЕКТНОГО УРОВНЯ ВОДЫ НА Р. ОБЬ НИЖЕ НОВОСИБИРСКОЙ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**В.А. Седых, А.Ю. Лапай**

### ABOUT NECESSITY CONSIDERATION THE ISSUE OF A CHANGE DESIGNED WATER-LEVELS ON THE RIVER OB BELOW NOVOSIBIRSK HYDROELECTRIC POWER STATION

«Novosibirsk state academy of water transport»  
V.A. Sedykh, A.Yu. Lapay

In article resume of calculations of frequency and probability of water levels during an open channel for the river Ob below Novosibirsk Hydroelectric power station are resulted. Discrepancy of operating and calculation marks of a design water level is shown.

*Keywords: designed water-level, frequency, probability curve, calculation level, water level landing, safety of navigation*

Приведены итоги расчетов повторяемости и обеспеченности уровней воды за период открытого русла для р. Обь ниже Новосибирской ГЭС. Показано несоответствие действующей и расчетной отметок проектного уровня воды.

Участки рек, расположенные на урбанизированных территориях, имеют отличительную особенность – наличие береговых сооружений и зданий, водозаборов, причалов, акваторий для отстоя флота, русловых инженерных сооружений, подводных и надводных переходов различного назначения для транспорта, связи, передачи электроэнергии, жидкого топлива, газа и так далее. Эти объекты накладывают дополнительные ограничения на возможность изменения планового очертания русла и увеличения глубин на трассе судового хода, акваториях для отстоя флота и подходах к причальным сооружениям. Дополнительную нагрузку на такие участки рек оказывает водохранилище. Неустановившейся характер потока в условиях сохраняющегося дефицита руслообразующих наносов, глубинная эрозия при сезонном регулировании стока водохранилищем, антропогенная деятельность приводят к посадке уровней воды. При этом многие вышеперечисленные объекты оказываются в неблагоприятных условиях эксплуатации, в том числе появляются сложные для осуществления судоходства участки реки.

За проектный уровень воды на реках, относительно которого устанавливаются заданные габариты пути (глубина, ширина и радиус закругления), принимают один из низких навигационных уровней, имеющих многолетнюю величину обеспеченности в зависимости от группы водных путей по признаку интенсивности судоходства.

Река Обь относится к магистральным рекам, поэтому за отметку проектного уровня должен приниматься минимальный уровень воды обеспеченностью 95-98%. Причем продолжительность стояния уровней ниже проектного не должна быть больше пяти дней за на-

вигационный период.

Для расчета был принят период с 1985-2010 годы. Он обеспечивает статистическую достаточность рядов данных. Для гидрологических постов р. Обь-г. Новосибирск, с. Дубровино, с. Кругликово, с. Победа, с. Молчаново, г. Колпашево, с. Каргасок были использованы данные об уровнях воды открытого русла (апрель-ноябрь), то есть в период физической навигации (данные предоставлены ГУ «Новосибирский ЦГМС-РСМЦ»). Для сглаживания эмпирических точек использовалась аналитическая кривая обеспеченности Пирсона III типа.

На рисунке 1 показаны изменения минимальных уровней воды за период открытого русла на р. Обь ниже Новосибирской ГЭС. Только в районе г. Колпашево тренд минимального уровня воды проходит строго горизонтально. В пунктах с. Молчаново и с. Каргасок наблюдается рост минимальных уровней воды, в остальных – понижение. Учитывая цикличность колебаний уровней воды и очень высокую водность 2009 года (по сравнению с предыдущими годами), были построены тренды без учета уровня этого года и с учетом уровня 2010 года (по оперативной информации). В результате во всех пунктах кроме г. Колпашево и с. Каргасок минимальные уровни воды имеют тенденцию к понижению (рисунок 2).

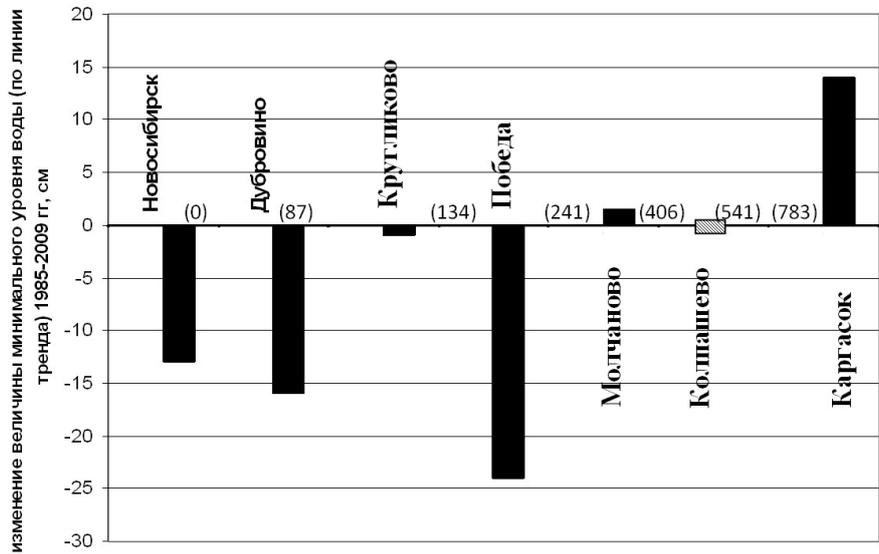


Рисунок 1 – Изменение величины минимального уровня воды по линии тренда 1985-2009 гг. на р. Обь ниже Новосибирской ГЭС (расстояние указано от г. Новосибирск)

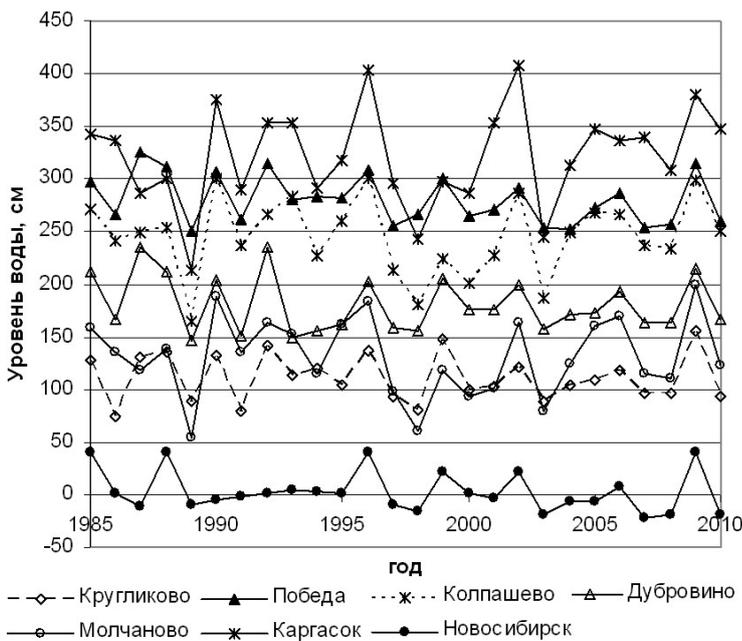


Рисунок 2 – Минимальные среднесуточные уровни воды за период открытого русла на р. Обь ниже Новосибирской ГЭС

Таким образом, на р. Обь ниже Новосибирской ГЭС с разной интенсивностью происходит посадка уровней воды на всем протяжении зоны ее влияния на уровеньный режим (до г. Колпашево).

Участок от плотины Новосибирской ГЭС до с. Дубровино (680-790 км) по гидравлическим характеристикам можно разделить на два подучастка – от плотины до с. Кудряшовский (717 км) и от с. Кудряшовский до с. Дубровино.

Для первого подучастка характерным являются колебания уровней воды, связанные с суточным регулированием. Число волн попусков суточного регулирования – величина непостоянная. Максимальная разница между среднесуточным и часовыми уровнями воды составляет 44 см в сутки. Это значительно осложняет определение и соблюдение гарантированных глубин на участке.

В период открытого русла с 1985 по 2010 годы на гидрологическом посту Новосибирск наибольшую повторяемость имели среднесуточные уровни воды в интервале 51-75 см на «0» поста обеспеченностью 80,61% (699 дней или 12,69% из всего периода). На рисунке 3 для этого гидрологического поста показаны кривые повторяемости и обеспеченности среднесуточных уровней воды за период открытого русла. Минимальные уровни воды на р. Обь в районе г. Новосибирск после создания водохранилища понижаются по причине их значительной посадки. В ближайшее время посадка уровней воды продолжится.

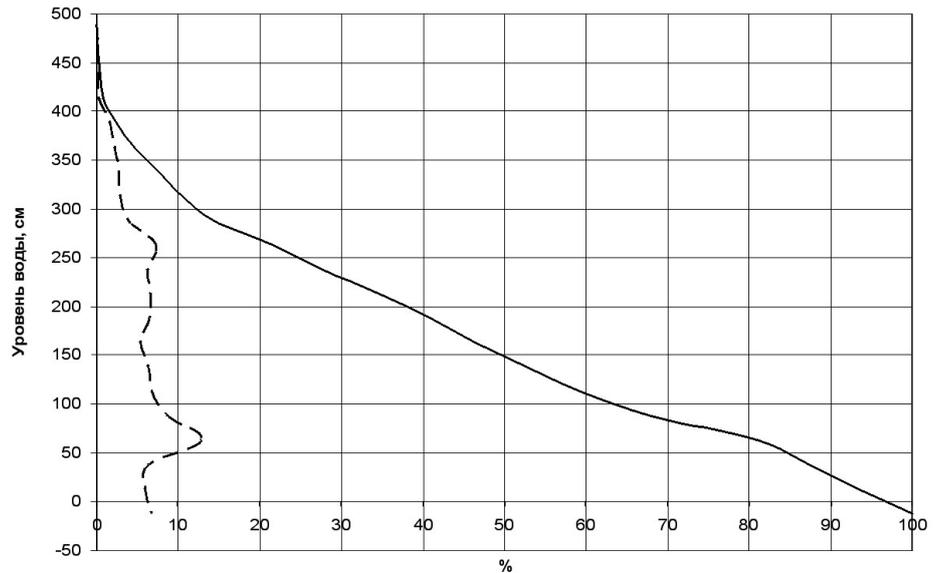


Рисунок 3 – Кривые повторяемости (пунктирная линия) и обеспеченности (сплошная линия) среднесуточных уровней воды р. Обь-г. Новосибирск

По кривой обеспеченности среднесуточных уровней воды в период открытого русла (рисунок 4) видно, что существующий проектный уровень воды (-80) см над «0» поста – имеет обеспеченность 72%, что не соответствует требованиям к обеспеченности проектного уровня на магистральной реке. Уровни 95-98%-ой обеспеченности по кривой обеспеченности минимальных уровней воды (рисунок 4) равны (-21...-22) см над «0» поста. На втором подучастке, от Кудряшей до с. Дубровино, также прослеживается тенденция понижения минимальных уровней открытого русла. Здесь влияние на уровеньный режим суточного регулирования менее заметно. Посадка уровней воды особенно заметна в межень.

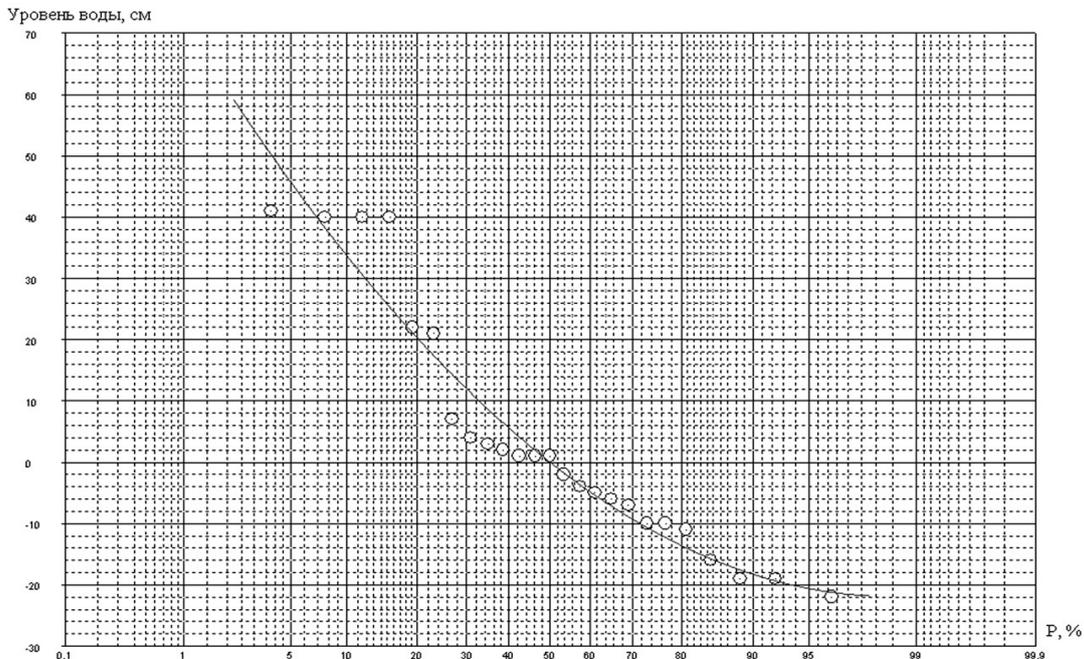


Рисунок 4 – Кривая обеспеченностей минимальных уровней воды в период открытого русла на р. Обь-г. Новосибирск

В период открытого русла с 1985 по 2010 годы на гидрологическом посту Дубровино наибольшую повторяемость имели среднесуточные уровни воды в интервале 226-250 см над «0» поста обеспеченностью 81,02% (689 дней или 13,05% из всего периода). На рисун-

ке 5 для этого гидрологического поста показаны кривые повторяемости и обеспеченности среднесуточных уровней воды за период открытого русла.

Анализ этой кривой обеспеченности показывает, что существующий проектный уровень воды 230 см над «0» поста – имеет обеспеченность 84%, что также не соответствует требованиям к обеспеченности проектного уровня на магистральной реке. Уровни 95-98%-ой обеспеченности по кривой обеспеченности минимальных уровней воды (рисунок 6) равны 140-144 см над «0» поста.

Для остальных гидрологических постов так же были построены кривые повторяемости и обеспеченности среднесуточных уровней воды и обеспеченности минимальных среднесуточных уровней воды за период открытого русла. Результаты расчетов приведены в таблице. В большинстве случаев расчетная отметка проектного уровня значительно ниже действующей.

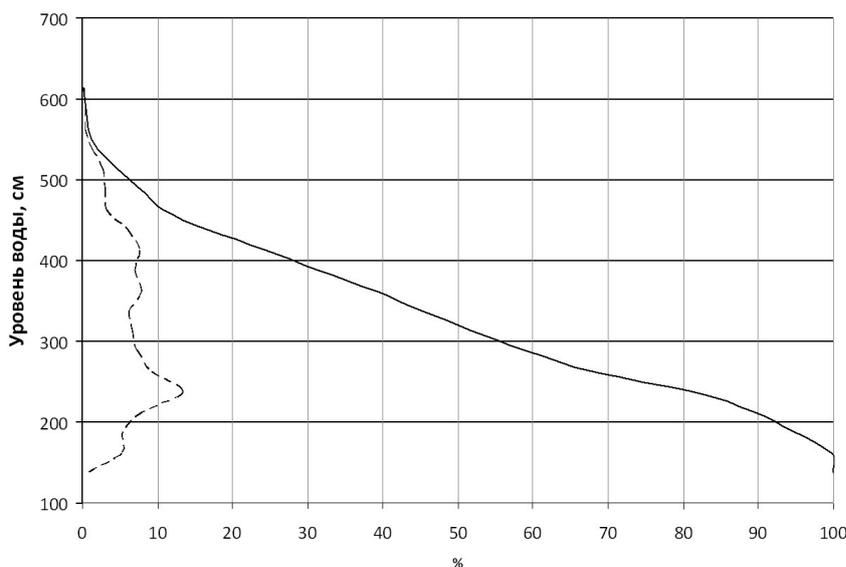


Рисунок 5 – Кривые повторяемости (пунктирная линия) и обеспеченности (сплошная линия) среднесуточных уровней воды р. Обь-с. Дубровино

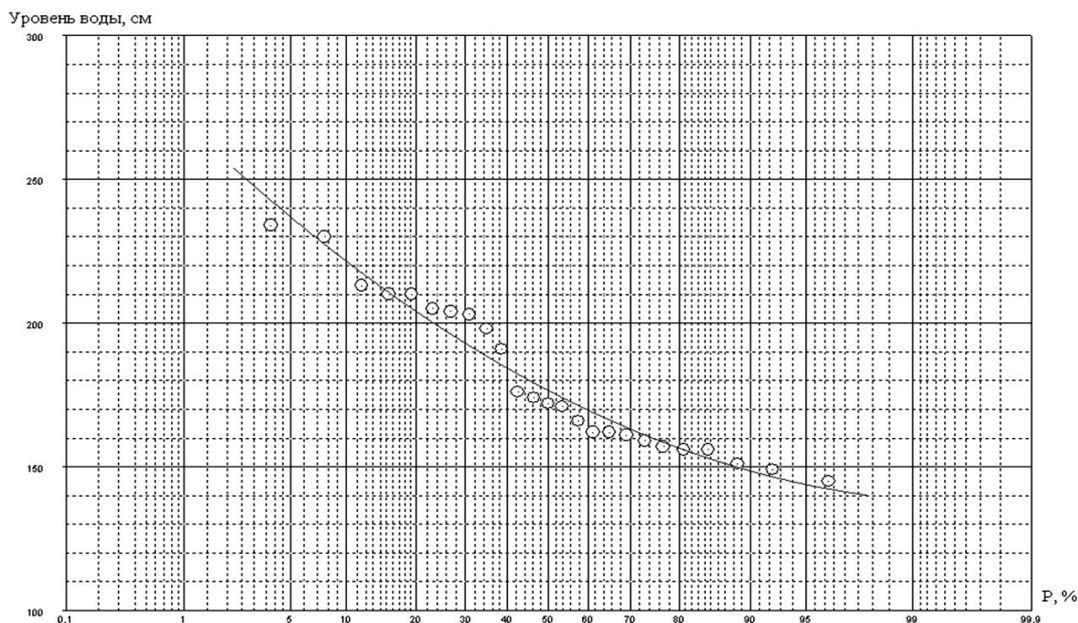


Рисунок 6 – Кривая обеспеченностей минимальных уровней воды за период открытого русла на р. Обь-с. Дубровино

Участок р. Обь ниже плотины Новосибирской ГЭС до устья р. Томь является самым грузонапряженным. На него приходится 40,5% от грузоперевозок всего Обского бассейна. Коренное улучшение судоходных условий возможно при выполнении комплекса выправительных и землечерпательных работ, которые должны вносить существенные изменения в русловые процессы на перекатах, активно влияя на их интенсивность. Строительство выправительных сооружений, используя руслоформирующую деятельность потока, позволяет предохранить дноуглубительные прорези от заносимости, чтобы избежать повторных работ на них или свести их к минимуму. Закрепление трассы судового хода в определенном положении, снижает, а в ряде случаев ликвидирует естественные предпосылки возникновения

экологической напряженности, связанные с переформированием русла.

*Таблица – Действующие и расчетные отметки проектных уровней воды на опорных гидрологических постах р. Обь ниже Новосибирской ГЭС*

Гидрологический пост	Интервал средних суточных уровней с наибольшей повторяемостью, см	Обеспеченность среднесуточных уровней с наибольшей повторяемостью, %	Действующая отметка проектного уровня, см	Обеспеченность действующей отметки проектного уровня, %	Расчетная отметка проектного уровня для заданной обеспеченности	
					95%	98%
Новосибирск	51-75	81	80	72	-21	-22
Дубровино	226-250	81	230	84	144	140
Кругликово	151-175	80	150	85	75	67
Победа	326-350	77	315	88	246	240
Молчаново	151-200	88	70	99	58	37
Колпашево	276-325	84	185	99	170	147
Каргасок	351-400	85	220	99	230	204

Планомерное развитие водного транспорта возможно только при наличии перспективы – долгосрочного плана развития отрасли. Комплексная схема улучшения судоходных условий участка водного пути должна учитывать направление развития и планируемые объемы грузоперевозок речного транспорта и соответствовать требованиям предъявляемыми грузоперевозчиками к водному пути. Для поддержания гарантированных глубин и обеспечения безопасности судоходства на этом участке существует необходимость рассмотреть вопрос изменения величины проектного уровня воды на федеральном уровне.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** проектный уровень воды, повторяемость, кривая обеспеченности, расчетный уровень, посадка уровней, безопасность судоходства

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Седых Виталий Алексеевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Лапай Анна Юрьевна, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

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

## **АНАЛИЗ ПРИЧИН КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ПОЛОВОДЬЯ НА р. ОБЬ В РАЙОНЕ г. НОВОСИБИРСКА В 2010 г. И ВОЗМОЖНОЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ МАКСИМАЛЬНЫХ ПОЛОВОДИЙ В БУДУЩЕМ**

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

**Т.В. Пилипенко, Т.Н. Михайлова**

**ANALYSIS OF THE CAUSES OF THE CATASTROPHIC FLOODS ON THE RIVER. OB IN NOVOSIBIRSK REGION IN 2010 AND THE POSSIBLE PREVENTION OF THE CONSEQUENCES OF THE MAXIMUM FLOOD IN THE FUTURE**  
«Novosibirsk state academy of water transport»

T.V. Piliipenko, T.N. Mikhailova

The influence of anomalously cold winter of 2009-2010 on hydrological features of the river Ob (on the section from downstream water of Novosibirsk reservoir to hydropost Novosibirsk is being considered in this article.

*Keywords: maximum water levels, water flow, flood, flow control, the volume of runoff, drawn by the sediments and flooding*

Рассматривается влияние аномально холодной зимы 2009-2010 гг. на гидрологические особенности реки Обь (на участке от нижнего бьефа Новосибирского водохранилища до г/п Новосибирск).

В последние десятилетия наблюдаются существенные изменения климата на планете, которые приводят к непредсказуемым последствиям в отдельных регионах. По данным метеорологов 2010 год стал одним из наиболее катастрофичных для России, и для всего мира.

В сибирском регионе, например, в Новосибирской области зима 2009-2010 годов была очень холодной и сопровождалась обильными осадками. Поэтому таяние снежного покрова

весной привело к катастрофически большому объему талых вод, и в весенне-летний период 2010 г. на р. Обь наблюдались наибольшие расходы воды за последние 40 лет. Вследствие этого в текущем году жители города Новосибирск и Новосибирской области столкнулись с проблемой затопления поймы реки Обь в Советском и Первомайском районах, где находятся дачные участки, коттеджные поселки, места отдыха и т.д. Всего по данным ГУ МЧС РФ по Новосибирской области было подтоплено 1918 участков в 20-ти садовых обществах. Из них 80% (1531 участок) – в Новосибирске, это 10 обществ Советского и Первомайского районов.

Подтопления произошли во время первой и второй волны паводка, так как емкость Новосибирского водохранилища оказалась недостаточна для полной задержки даже первой волны половодья. Во время второй волны, которая была вызвана таянием снегов и ледников Алтая, Новосибирское водохранилище к концу июня оказалось уже почти заполненным до нормального подпорного уровня (113,50 м БС). Плюс к этому 1 июля 2010 г. на Алтае выпала половина месячной нормы осадков и наблюдался мощный дождевой паводок. В результате минимальная разница между нормальным подпорным уровнем (НПУ) и уровнем воды в верхнем бьефе Новосибирского водохранилища составила 10 см (уровень воды в верхнем бьефе на 5 июля 2010 г. достиг своего наибольшего значения 113,40 м БС). Максимальный приток воды к створу Новосибирской ГЭС зафиксирован 30 июня 2010 года и составил 6789 м<sup>3</sup>/с. Максимальный расход, сбрасываемый в нижний бьеф, 2 июля 2010 г. достиг величины 5750 м<sup>3</sup>/с, при этом уровень нижнего бьефа повысился до 97,20 м БС.

Эти критические цифры говорят о необходимости исследования причин и дальнейшего устранения нежелательных последствий паводка в пойме реки Обь. Предотвращение в будущем возможных затоплений прилегающих к Оби территорий снизит социальную напряженность в городе, сведет к нулю ущерб сельскому и приусадебному хозяйству, а также компенсационные выплаты пострадавшим горожанам из бюджета области и города.

Комплекс инженерных решений, необходимый для решения данной проблемы должен быть достаточно разнообразен и в каждом конкретном случае его состав должен корректироваться в зависимости от гидролого-морфологических условий рассматриваемого участка. Решение поставленной задачи осложнено особенностями руслового процесса на рассматриваемом участке р. Обь. По результатам визуального и картографического обследования участков поймы р. Обь, подвергнувшихся затоплению, они были объединены в группы по типам русел. Все участки в группах территориально и морфологически связаны. Например, пойменные участки правого берега Советского района г. Новосибирска, на которых расположены садовые общества в поселках Нижняя Ельцовка, Светлая и Матвеевка. Эта группа относится к участкам с пойменными разветвлениями, здесь наблюдается большое количество пойменных протоков и озер. Проблема затопления в подобных случаях связана непосредственно с повышением уровня воды в протоках, и, если предотвратить доступ воды на входе в основную протоку, то можно избежать затопления во всей сети вторичных протоков.

По нашему мнению, берегозащитные мероприятия для любых типов русел можно разделить на две группы по способам защиты:

- непосредственные, то есть повышение отметок пойменных бровок на затопляемых участках с помощью либо насыпных оградительных дамб, либо шпунтовых стенок;
- опосредованные, например, постройка заградительных устройств в наиболее узких местах в начале пойменных протоков для предотвращения захода в них катастрофического объема воды.

Дальнейшая разработка способов защиты конкретных участков затопления включает в себя расчетное обоснование отметок верха дамб, их поперечного профиля и крепления гребня и откосов; установление мест и конструкций заградительных и водопропускных устройств. Здесь обязательно проведение комплекса фильтрационных, прочностных расчетов и расчетов устойчивости.

Работа выполнена на правах Гранта Мэрии г. Новосибирска, договор №22-10 от 23.11.2010 г.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *максимальные уровни воды, расходы воды, половодье, регулирование стока, объем стока, влекомые наносы, затопление*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Пилипенко Татьяна Викторовна, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Михайлова Татьяна Николаевна, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

## ОБ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ОТМЕТОК ПРОЕКТНОГО УРОВНЯ ВОДЫ НА ВЕРХНЕЙ ОБИ И ЕЁ ПРИТОКАХ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.А. Седых, А.Ю. Лапай

ABOUT THE PROVISION OF THE PROJECT MARKS THE WATER LEVEL IN THE UPPER OB RIVER AND ITS TRIBUTARIES  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
V.A. Sedykh, A.Yu. Lapay

The article presents the results of calculations and analysis of the frequency curves and supply of daily water levels, as well as curves to achieve the minimum water levels for the period of navigation. The data on the change in average annual water flow of the Upper and Middle Ob and their tributaries. The necessity of change marks the project level in these rivers, based on analysis of data on daily and minimum levels of water.

*Keywords: curves to achieve the minimum water levels, water content, mark the project level*

Приведены результаты расчетов и анализа кривых повторяемости и обеспеченности среднесуточных уровней воды, а так же кривых обеспеченности минимальных уровней воды за период навигации. Приведены данные об изменении среднегодовых расходов на Верхней и Средней Оби и их притоках. Показана необходимость изменения отметок проектного уровня на этих реках, на основании анализа данных об ежедневных и минимальных уровнях воды.

Хозяйственное освоение территории Алтайского края началось много веков назад, но наиболее интенсивное строительство различных инженерных сооружений в руслах и поймах рек началось только во второй половине XX века. К ним относятся карьеры, мостовые переходы, берегоукрепляющие и очистные сооружения, переходы газопроводов, водозаборы. Эти объекты появлялись на реках не одновременно, а последовательно. В результате этого некоторые участки реки приобрели черты высокоурбанизированных, причем на отдельных из них концентрация инженерных сооружений превышает 5 объектов на 1 км реки. Как правило, в проектах не производится расчет величины зоны влияния нового инженерного сооружения, условия его взаимодействия с другими сооружениями и русловыми процессами в целом [1].

На участке Верхней Оби от слияния рек Бия и Катунь до г. Камень-на-Оби морфодинамический тип русла в «чистом виде» наблюдается довольно редко. На одном участке реки одновременно заметны черты нескольких типов русла, а в зависимости от водности года и величины стока наносов преобладает тот или иной тип русловых процессов. Исследования, проведенные И.В. Поповым (1962) показали, что Верхняя Обь по типу русловых процессов может быть разделена на два подучастка. Первый имеет протяженность 175 км и расположен от слияния рек Бия и Катунь до с. Калистратихи. Здесь по классификации ГГИ, преобладает осередковый тип руслового процесса или русловая многорукавность. Второй подучасток длиной 280 км – от с. Калистратихи до г. Камень-на-Оби – характеризуется свободным меандрированием.

На первом подучастке наблюдается хорошо выраженное разветвленное русло. На участке Оби до с. Усть-Чарышская Пристань находится около 150 островов с площадью от менее 0,1 км<sup>2</sup> до более 2,0 км<sup>2</sup>. Число островов в одном створе может достигать 10-12. Период блуждания динамической оси потока по рукавам разветвленного русла составляет от одного навигационного периода до 10-15 лет. При этом скорость размыва берегов достигает 30-40 м/год. Верхний подучасток характеризуется большим количеством мелководных перекатов. Вертикальные деформации, отмеченные в данном районе, превышают величину 10 м за счет смещения крупных гряд. Столь интенсивные русловые переформирования создают большие трудности при обеспечении гарантированного судоходства, так как блуждание потока по рукавам и протокам разветвленного русла способно в короткий период полностью изменить существующую трассу судового хода.

Ниже Усть-Чарышской Пристани происходит постепенное увеличение ширины русла почти в два раза. Наблюдается также незначительное увеличение ширины долины с одновременным сокращением ширины русла почти в два раза. Наблюдается также незначительное увеличение высоты поймы и возрастание (более чем на 70%) амплитуды колебания уровней воды. Здесь наблюдается постепенное уменьшение уклонов водной поверхности, средних размеров руслообразующих наносов, а также увеличение стока воды и наносов.

Изменение этих величин является причиной преобладания на нижнем подучастке процессов меандрирования; основные переформирования русла связаны здесь с развитием излучин, формирующихся в пределах единого русла или в рукавах разветвленного русла. Наиболее интенсивные планово-высотные деформации отмечены в районе г. Барнаул. Отдельные излучины реки здесь за 10 лет смещаются на ширину своего русла, то есть скорость размыва их вогнутого берега излучин достигает 60-70 м/год. Очень велики на нижнем подучастке и темпы высотных деформаций. В отдельных случаях их величины могут превышать 20 м в год [2].

Верхняя Обь, Бия и Катунь относятся ко второй группе водных путей по признаку интенсивности судоходства, поэтому за отметку проектного уровня должен приниматься минимальный уровень воды обеспеченностью 90-95%. При этом, продолжительность стояния уровней ниже проектного не должна быть больше 5-20 дней за навигационный период.

Для расчета был принят период с 1985-2010 годы. Он обеспечивает статистическую достаточность рядов данных. Для гидрологических постов р. Обь: с. Фоминское, с. Усть-Чарышская Пристань, г. Барнаул; р. Бия: г. Бийск и р. Катунь – с. Сростки были использованы данные об уровнях воды открытого русла (апрель-ноябрь), то есть в период физической навигации (данные предоставлены ГУ «Новосибирский ЦГМС-РСМЦ»). Для сглаживания эмпирических точек использовалась аналитическая кривая обеспеченности Пирсона III типа.

На рисунке 1 показаны изменения минимальных уровней воды за период открытого русла на Верхней Оби и её притоках. Во всех рассматриваемых пунктах наблюдается понижение минимальных уровней воды, за исключением р. Катунь-с. Сростки. Данные по этому посту не являются репрезентативными, так как он переносился в 2000 году и уровни воды не были увязаны. На рассматриваемых реках с разной интенсивностью происходит посадка уровней воды. Её причинами могут быть как хозяйственная деятельность человека в руслах и поймах рек, так и природные изменения.

На реках бассейна Верхней и Средней Оби был проведен анализ среднегодовых расходов воды. Выяснилось, что на большинстве малых рек, являющимися притоками Оби, величины среднегодовых расходов воды имеют тенденцию к уменьшению (рисунок 2). В самом верхнем створе р. Обь – с. Фоминское прослеживается уменьшение среднегодового расхода воды. В г. Барнаул и г. Камень-на-Оби среднегодовые расходы воды наоборот увеличились на 100-200 м<sup>3</sup>/с. Это может быть связано с подпором от Новосибирского водохранилища создающимся выше по течению реки. На Средней Оби по всему участку реки (Новосибирская ГЭС, Дубровино, Колпашево) наблюдается резкое уменьшение среднегодовых расходов воды от 100 до 1000 м<sup>3</sup>/с. Это может быть следствием регулирования стока, уменьшения годового количества осадков, увеличения изъятия воды, цикличности природных процессов или каких-либо других причин. Уменьшающаяся водность Верхней и Средней Оби на фоне посадки уровней воды создает еще более неблагоприятные условия для судоходства.

Для самого крупного из рассматриваемых населенных пунктов и узла водного транспорта г. Барнаул, на рисунке 3 показаны кривые повторяемости и обеспеченности среднесуточных уровней воды за период открытого русла. В период открытого русла с 1985 по 2010 годы на данном гидрологическом посту наибольшую повторяемость имели среднесуточные уров-

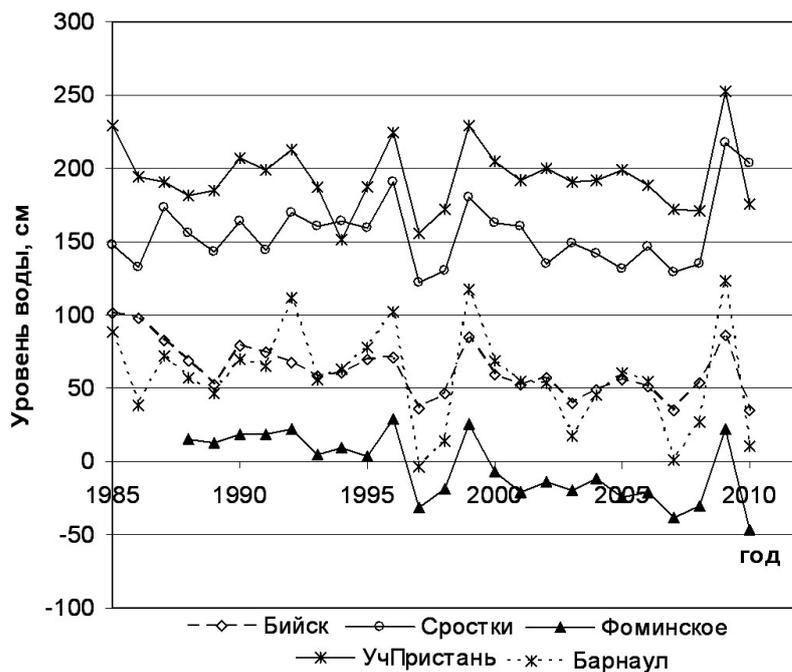


Рисунок 1 – Минимальные среднесуточные уровни воды за период открытого русла на Верхней Оби с притоками (1985-2010 гг.)

ни воды в интервале 126-150 см на «0» поста обеспеченностью 80% (372 дня или 7% из всего периода). По кривой обеспеченности среднесуточных уровней воды в период открытого русла видно, что существующий проектный уровень воды 170 см над «0» поста – имеет обеспеченность 72%, что не соответствует требованиям к обеспеченности проектного уровня на реке второй группы водных путей. Уровни 90-95%-ой обеспеченности по кривой обеспеченности минимальных уровней воды равны 11-(-1) см над «0» поста (рисунок 4).

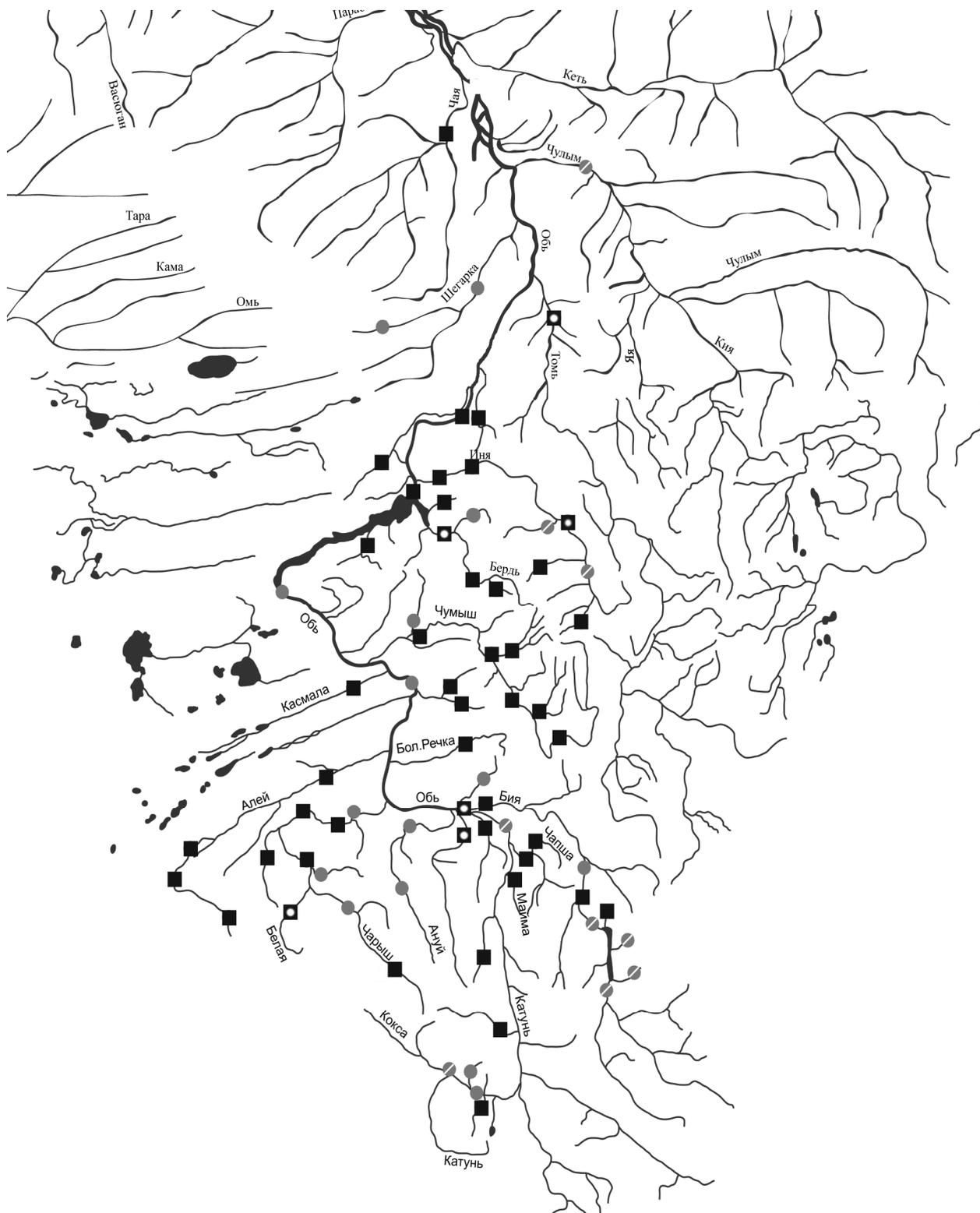


Рисунок 2 – Изменение среднегодовых расходов воды на Верхней и Средней Оби с притоками: ● - увеличение; ◐ - небольшое увеличение; ■ - уменьшение; ◑ - небольшое уменьшение

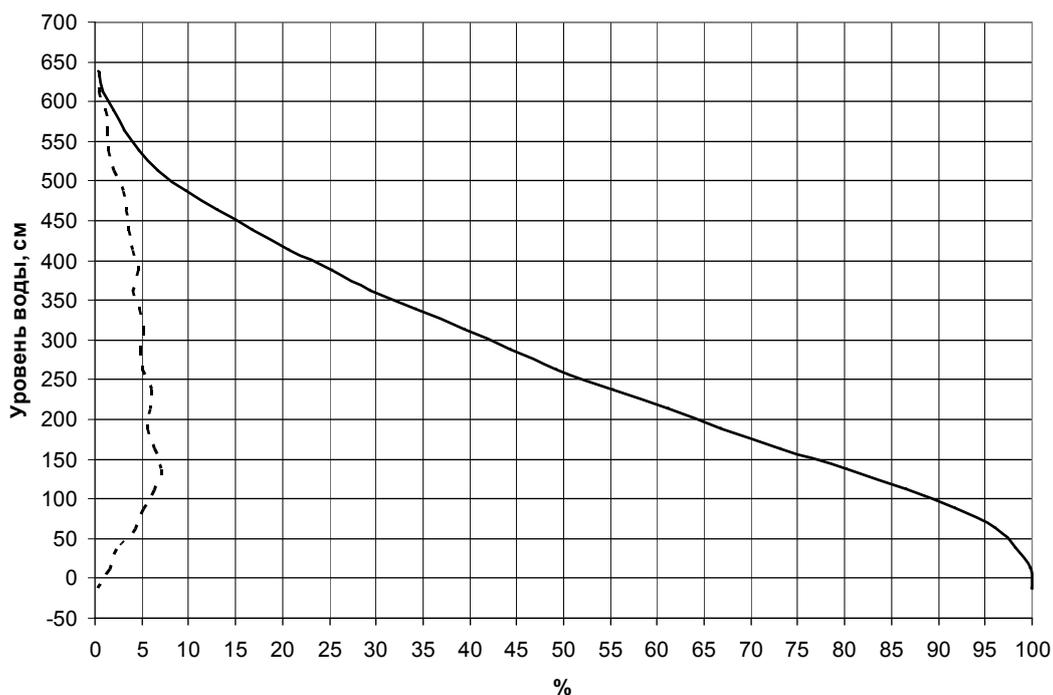


Рисунок 3 – Кривые повторяемости (пунктирная линия) и обеспеченности (сплошная линия) среднесуточных уровней воды р. Обь (г. Барнаул)

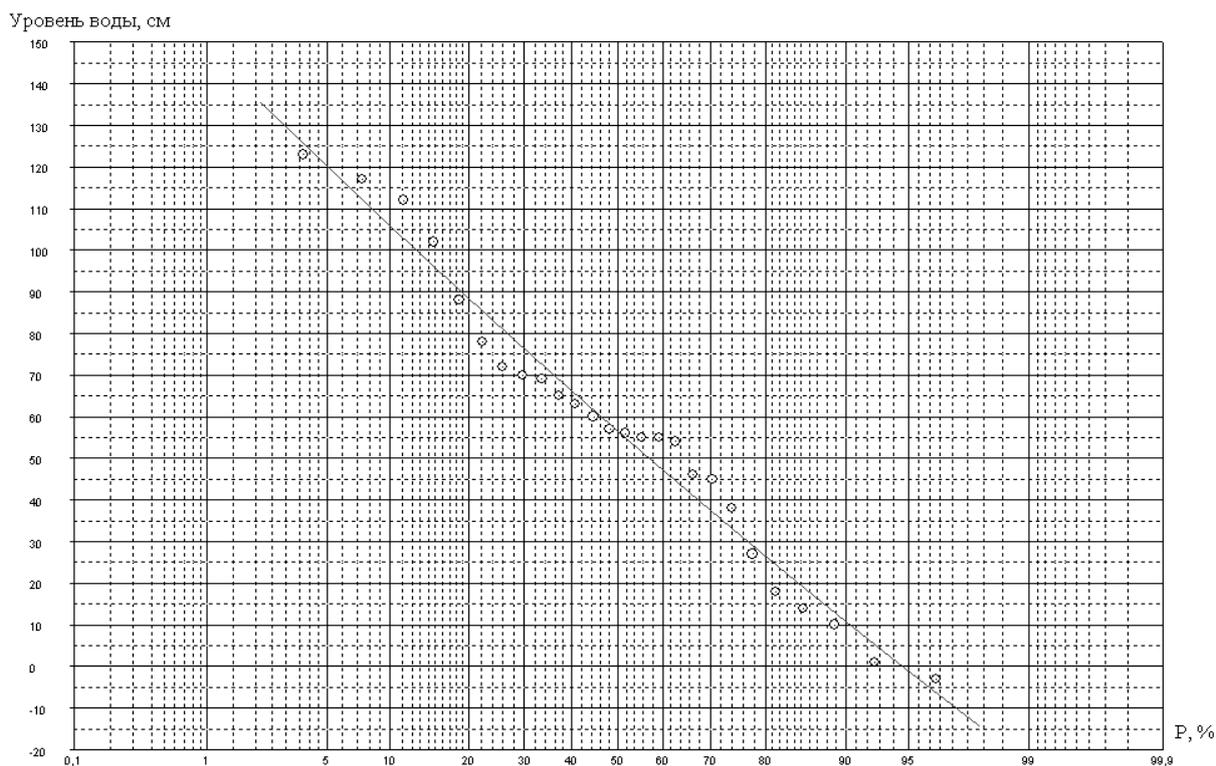


Рисунок 4 – Кривая обеспеченностей минимальных уровней воды в период открытого русла на р. Обь (г. Барнаул.)

Результаты расчетов для гидрологических постов с. Фоминское, с. Усть-Чарышская Пристань, г. Барнаул, с. Сростки и г. Бийск приведены в таблице. В основном отметки проектного уровня не удовлетворяют заданной обеспеченности. Для корректировки проектного уровня необходимо проанализировать кривую обеспеченности минимальных уровней воды, так как в отдельных случаях величина проектного уровня сильно отличается от величины снятой с кривой обеспеченности ежедневных уровней.

## ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

Таблица – Действующие и расчетные отметки проектных уровней воды на опорных гидрологических постах на Верхней Оби, Биш и Катуну

Гидрологический пост	Интервал средне-суточных уровней с наибольшей повторяемостью, см	Обеспеченность среднесуточных уровней с наибольшей повторяемостью, %	Действующая отметка проектного уровня, см	Обеспеченность действующей отметки проектного уровня, %	Расчетная отметка проектного уровня для заданной обеспеченности	
					90%	95%
Фоминское	81-95	55	35	82	38	34
Усть-Чарышская Пристань	316-330	51	200	97	165	159
Барнаул	126-150	80	170	72	11	-1
Бийск	91-105	82	140	58	38	34
Сростки	226-240	70	180	91	129	126

Проектный уровень является основным ориентиром при планировании и производстве всех путевых работ для обеспечения безопасности судоходства. Он устанавливается для опорного гидрологического поста, характеризующего водность определенного участка реки и имеющего систематические и многолетние наблюдения не менее чем за 20-25 лет. Проектный уровень назначают на длительный срок и положение его по высоте меняют только при коренных изменениях уровня режима реки или по другим важнейшим обстоятельствам. На участках рек, где в больших объемах выполняются землечерпательные работы, рекомендуется проверять и, при необходимости, корректировать положение проектного уровня один раз в 3-5 лет [3]. Учитывая массовость разработки русловых карьеров, как на Верхней Оби, так и на её притоках, и высокие темпы плано-высотных деформаций, связанных с хозяйственной деятельностью человека, существует необходимость в ближайшее время провести корректировку проектных уровней на данных реках.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Дьячков, В.Н. Особенности учета русловых процессов при хозяйственном освоении территории алтайского края / В.Н. Дьячков // Проблемы русловедения: тр. Акад. пробл. водохозяйствен. наук, -Вып.9, -М., 2003, -218 с.

2 Дьячков, В.Н. Оценка плано-высотных деформаций морфологически однородных участков Верхней Оби / В.Н. Дьячков // Современное состояние водных путей и русловые процессы: материал. четвертого науч.-практ. совещан. -Новосибирск, 2002, -89 с.

3 Седых, А.И. Путевые работы на судоходных реках: справочное пособие / А.И. Седых, Ф.М. Чернышов, А.В. Кабанов. -М.: Транспорт, 1978, -328 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** кривые обеспеченности минимальных уровней воды, водность рек, отметка проектного уровня

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Седых Виталий Алексеевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Лапай Анна Юрьевна, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

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

## ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ЗАДАННЫХ ПОТЕРЯХ

ФГОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»

В.В. Ишков, В.Л. Душин, В.И. Меньшиков

### INCREASE OF VALIDITY OF THE CONTROL OF NAVIGATION INFORMATION AT THE GIVEN LOSSES

«Murmansk state technical university»

V.V. Ishkov, V.L. Dushin, V.I. Menshikov

Results of continued investigations on the increase of validity of the control of navigation information are presented in the given article. A method of selection and consolidation of certain control operations into a single process is suggested.

Keywords: functional, navigation information, navigation watch, dangerous disaggregated management

Представлены результаты продолжения работы в области повышения достоверности контроля навигационной информации. Предложен способ выборки и объединения конкретных контрольных операций в единый процесс.

Эффективность функционирования навигационной (штурманской) вахты в конечном итоге определяется качеством выходной информации, передаваемой по постам управления техническими средствами судовождения в виде команд капитана судна. К числу параметров, определяющих качество команд в части обеспечения безопасной эксплуатации судна, следует в первую очередь отнести полноту, своевременность и достоверность таких команд. В рамках требований Международной Конвенции ПДНВ-78/95 выделенные параметры качества команд на поддержание состояния безопасной эксплуатации судна в свою очередь, зависят от того, как организован технологический процесс преобразования информации в системе несения навигационной вахты.

В общем виде задача синтеза оптимального технологического процесса преобразования информации в системе несения навигационной вахты может быть сформулирована как задача безусловной оптимизации некоторого функционала

$$\Phi(f, t, r, w) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $f, t, r, w$  – соответственно позитивная полнота, время, достоверность и стоимость (приведенные потери), преобразования навигационной информации.

Определение усредненной величины потерь минимизирующей функционал (1) является весьма трудоемкой операцией. Однако можно значительно упростить задачу построения оптимальной системы обработки навигационной информации, состоящей из отдельных контрольных операций, например, перевести параметр достоверности выходной навигационной информации в выражении (1) из экстремального состояния в ограничительное отношение. Другими словами переформулировать условие (1) следующим образом:

$$W = W_p + W_k \rightarrow \min; T \leq T_{\text{доп}}; P_1 \leq P_{\text{доп}}, \quad (2)$$

где  $W_p$  – приведенные затраты на функционирование системы преобразования навигационной информации без операций контроля;

$W_k$  – приведенные затраты на функционирование комплекса операций контроля;

$P_{\text{доп}}$  – допустимое значение вероятности искажения слова в выходной команде капитана судна или его замещающего на управление состоянием безопасности мореплавания;

$T_{\text{доп}}$  – расчетное (допустимое) значение  $t$  в (1).

Для решения задачи (2) можно использовать последовательный перебор вариантов объединения контрольных операций, привлекая в этом случае метод «ветвей и границ». В качестве «границ» могут использоваться допустимые величины  $T_{\text{доп}}$  и  $P_{\text{доп}}$ , а также минимальное значение приведенной затраты  $W$ . Создание единой общности контрольных операций за достоверностью навигационной информации при несении штурманской вахты необходимо начинать с определения множества операций контроля  $\psi\{m, k_i\}$ . Особенностью решаемой задачи является то, что одна из операций контроля в системе несения штурманской вахты должна быть фиктивной, имеющей нулевые значения стоимости, времени ре-

лизации и корректирующей способности.

Допустимость применения операций контроля  $mk_i$  на  $j$ -й фазе информационного технологического процесса, идущего на ходовом мостике судна опишем матрицей:

$$\sum \{tk_{ij}\}, i, j \in m; \quad (3)$$

$$tk_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } mk_i \text{ можно использовать на } j\text{-ой фазе;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Выбор операции контроля  $Y_j$ , осуществляется с учетом предыстории, то есть привлечения матрицы взаимосвязи операций контроля предыдущих и последующих фаз преобразования:

$$\Lambda \{kk_{ij}\}, i, j \in l; \quad (4)$$

$$tk_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } Y_j \text{ может использовать } mk_i, \text{ при условии, что } Y_r \text{ использует } mk_i, r, j \in m, r < j; \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

причем эта матрица формируется с учетом коэффициентов взаимосвязи между отдельными операциями контроля

В дополнении к матрицам (3) и (4) следует же задать матрицу:

$$\Delta^j = \{X_{qi}^j\}; q; j \in m; i \in l, \quad (5)$$

которая определяет возможное место введения избыточности в структуру штурманской вахты для проведения операций контроля, применяемых на  $j$ -й фазе преобразования навигационной информации

$$X_{qi}^j = \begin{cases} 1, & \text{если } Y_j \text{ может использоваться } mk_i\text{-ая операция контроля,} \\ & \text{избыточность для которой введена на } q\text{-й фазе;} \\ 2, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Кроме того, для каждой  $j$ -й фазы необходимо задать множество  $\langle K^j \rangle$  разрешенных к применению операций контроля навигационной информации путем пересечения множества элементов  $j$ -й вектор-строки матрицы (3) с множеством элементов матрицы (4). Полученное множество в свою очередь может быть преобразовано в более мощное  $K^j$ , которое уже будет включать все возможные объединения контрольных операций и представлять многозначное отображение множества  $\langle K^j \rangle$  в множество элементов матрицы (5).

Процесс построения множеств  $K^j$  схематично можно изобразить в виде отдельных ветвящихся деревьев, корнями которых являются элементы множества  $K^1$ . Графически задача выбора системы контрольных операций для информационного технологического процесс может быть интерпретирована как задача поиска ветви дерева длиной  $(m-1)$  параметры которой  $P$  и  $T$  удовлетворяют ограничениям, а значение  $W$  является минимально возможным. На первом этапе поиска задаются некоторое заведомо большое значение  $W_0$  и допустимые значения  $P_{доп}$  и  $T_{доп}$ . Затем путем последовательного перебора фаз строится ветвь дерева, удовлетворяющая условиям:

$$T \leq T_{доп}; P_1 \leq P_{доп}; W < W_0.$$

Для построения ветви дерева по рекуррентным соотношениям рассчитываются накопленные значения  $\langle P \rangle, \langle T \rangle$  и  $\langle W \rangle$ . В качестве рекуррентных соотношений можно, например, использовать следующие выражения:

$$\langle P_j \rangle = \langle P_{j-1} \rangle + p_j (1 - K_{обнj}) - K_{обнj} \sum_{r=1}^{j-q} p_{j-r} \prod_{h=1}^r (1 - K_{обнj-h});$$

$$\langle T_j \rangle = \langle T_{j-1} \rangle + \tau_j + \delta_j \sum_{r=1}^{j-q} \tau_{j-r}; \quad \langle W_j \rangle = \langle W_{j-1} \rangle + W_j + \delta_j \sum_{r=1}^{j-q} W_{j-r},$$

где  $\langle P_{j-1} \rangle, \langle T_{j-1} \rangle, \langle W_{j-1} \rangle$  – накопленные значения  $P, T$  и  $W$ , рассчитанные для предыдущей  $(j-1)$ -й фазы;

$p_j, \tau_j, W_j$  – текущие значения  $P, T$  и  $W$  для  $j$ -й фазы;

$\delta_j$  – коэффициент избыточности информации, необходимой для реализации  $Y_j$ ,

$$\langle K_{обн\dot{j}-h} \rangle = \begin{cases} K_{обн\dot{j}-h}, & \text{если } k_{(j-h)s} = 1 \text{ и } j - r \geq s; \\ 0, & \text{в обратном случае.} \end{cases}$$

На каждой  $j$ -й фазе просматриваются все разрешенные операции контроля навигационной информации и множество  $K^j$  однако, если для какой-либо операции контроля или ее структуры условия по  $P, T$  или  $W$  не выполняются, соответствующая ветвь дерева, начиная с  $j$ -й фазы, и все примыкающие к ней разветвления на последующих  $s$ -х фазах ( $s > j$ ) не просматриваются. Если построенная полная ветвь дерева длиной  $j - 1$  принимается за эталонную, то ее параметры запоминаются, а значение  $W$ , рассчитанное для этой ветви, принимается в качестве ограничения  $W_s$  для последующих вариантов расчетов.

Составленная подвижная граница способна отсекалть неоптимальные ветви дерева и осуществить объединение конкретных контрольных операций в единый процесс, который будет обеспечивать достоверность команде капитана или замещающего его вахтенного помощника. Повышение достоверности навигационной информации в процессе управления состоянием мореплавания в свою очередь позволяет минимизировать количество команд из множества «опасного не системного менеджмента», выходящего за пределы принятой в компании корпоративной культуры управления. Минимизация использования команд капитаном или замещающим его вахтенным помощником из множества «опасного не системного менеджмента» существенно снижает вероятность потери целостности штурманской вахты, причем как самой организационно-технической системы в целом, так и ее отдельных элементов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** функционал, навигационная информация, штурманская вахта, опасный не системный менеджмент

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Ишков Виктор Валентинович, аспирант ФГОУ ВПО «Мурманский ГТУ»

Душин Виталий Львович, аспирант ФГОУ ВПО «Мурманский ГТУ»

Меньшиков Вячеслав Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «Мурманский ГТУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13, ФГОУ ВПО «Мурманский ГТУ»

## ПОСТРОЕНИЕ РОБАСТНО-УСТОЙЧИВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КУРСОМ СУДНА

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

**А.А. Дыда, Е.П. Чинчукова, С.А. Воробьева**

### DEVELOPMENT OF ROBUST-STABLE SYSTEM FOR SHIP'S COURSE CONTROL

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

A.A. Dyda, E.P. Chinchukova, S.A. Vorobyova

Ship's course control system is considered in the paper. The problem of regulator parameters synthesis with given structure is solved to provide prescribed transient processed quality in a case of wide parameters variations.

*Keywords: robust control, stability, variation parameters, degree of stability*

Исследуется система управления курсом судна. Решается задача нахождения параметров регулятора заданной структуры, который обеспечит необходимое качество переходных процессов при значительных вариациях характеристик объекта управления.

Анализ существующих математических моделей морских подвижных объектов (МПО) показывает, что они могут быть отнесены к объектам с неопределенными параметрами. Особенность управления такими объектами, в частности судном, в сравнении с другими заключается в том, что в процесс собственного движения они вовлекают слои окружающей среды (жидкость, воздух). Поэтому для расчета параметров данного объекта необходимо учитывать присоединенные массы и моменты инерции [3].

Система управления движением судна должна быть не только устойчивой, но и обладать заданным качеством процессов управления. В настоящей работе для такой оценки применяется степень устойчивости [1].

Модель движения судна или МПО по курсу описана уравнением Номото [4] второго порядка

$$J\ddot{\varphi}^2 + K_c\dot{\varphi} = K\delta, \quad (1)$$

где  $K_c$  – коэффициент вязкого сопротивления среды;  
 $K$  – эффективность процесса управления;  
 $\delta$  – угол поворота пера руля МПО;  
 $\varphi$  – курс МПО;  
 $J$  – момент инерции судна.

Предполагается, что для управления положением пера руля используется рулевая машина, дифференциальное уравнение для которой имеет вид

$$(T_p s + 1)\delta = K_p u, \quad (2)$$

где  $K_p$  – коэффициент передачи;  
 $T_p$  – постоянная времени;  
 $u$  – выход регулятора (управление).

Уравнение регулятора примем в следующем общем виде

$$u = \frac{R(s)}{Q(s)} e, \quad (3)$$

где  $e$  – сигнал рассогласования между заданным и фактическим;  
 $R(s), Q(s)$  – полиномы степени  $n$  и  $m$  соответственно ( $n > m$ ).

Таким образом, характеристическое уравнение системы имеет вид

$$s(Js + K_c)(T_p s + 1)Q(s) + K_p K \cdot R(s) = 0. \quad (4)$$

Для определенности рассмотрим случай использования регулятора, описываемого уравнением

$$u = \frac{K1 \cdot s + K2}{s + 1} e. \quad (5)$$

Следовательно, уравнение (4) имеет вид

$$s(s + 1)(Js + K_c)(T_p s + 1) + K_p K (K2 + K1 \cdot s) = 0, \quad (6)$$

или после преобразования

$$Js^4 + (JT_p + J + K_c T_p)s^3 + (J + K_c T_p + K_c)s^2 + (K_c + K_p K \cdot K1)s + K_p K \cdot K2 = 0. \quad (7)$$

При исследовании объектов с неопределенными параметрами существует проблема определения устойчивости системы. Применение классических методов линейной теории автоматического управления в данном случае затруднено. Поэтому воспользуемся теоремой Харитонова [2], которая определяет условия устойчивости системы при вариациях параметров

Воспользуемся данными исследования реального МПО [4]. Интервалы значений момента инерции  $J$  и коэффициента вязкости  $K_c$  и другие коэффициенты системы описаны в таблице.

Таблица – Значения параметров

Обозначение	Численное значение параметра
$J_{\min}$	100
$J_{\max}$	200
$K_{c\min}$	20
$K_{c\max}$	100
$K$	0,175
$K_p$	10
$T_p$	10
$K1$	10
$K2$	1

Согласно теореме Харитонова [2], для устойчивости рассматриваемой интервальной системы требуется устойчивость полиномов  $Q1$  и  $Q2$ . Для вычисления соответствующих определителей подставим данные из таблицы в уравнение (7). Далее вычислим определители матриц Гурвица [2]  $\Delta1$  и  $\Delta2$ , состоящих из коэффициентов полиномов  $Q1$  и  $Q2$ .

Вычисление соответствующих определителей в среде Matlab дает следующие результаты

$$\Delta_1 = 88; \Delta_2 = 89.$$

Вычисления показывают, что определители положительны, следовательно, интервальная система управления курсом судна оказывается робастно устойчивой, то есть устойчива при произвольных значениях изменяющихся параметров из указанных диапазонов.

Теорема Харитонова может быть использована для исследования не только устойчивости, но и качества переходных процессов. Для определения качества управления воспользуемся таким показателем как степень устойчивости [1]. Чтобы определить степень устойчивости  $\alpha$  линейной системы в характеристическом уравнении необходимо сделать замену переменных  $s = s - \alpha$ , затем применить для смещенной системы любой критерий устойчивости, и определить, при каком значении  $\alpha$  достигается граница устойчивости. Сделав указанную подстановку в характеристическое уравнение (6), получим уравнение

$$(s - \alpha)(s - \alpha + 1)[J(s - \alpha) + K_c][T_p(s - \alpha) + 1] + K_p K [K_2 + (s - \alpha)K_1] = 0. \quad (7)$$

Представим (7) в виде полинома со значениями коэффициентов из таблицы, а затем в среде Matlab найдем нужные для определения устойчивости определители по Харитонову:

$$\Delta_1 = 90; \Delta_2 = 66.$$

Из проделанных расчетов следует, что система устойчива. Найдем границу устойчивости, которая соответствует нулю свободного члена в уравнении (7). Если изменяемые параметры максимальные, то  $\alpha$  равно 0,1000; 0,0185; 0,4648; 1,0167, если изменяемые параметры минимальные, то  $\alpha$  равно соответственно 0,1000; 0,0896-0,0955i; 0,0896+0,0955i; 1,0209.

На рисунке 1 приведена структурная схема системы управления, моделирование которой выполнено в среде Matlab/Simulink.

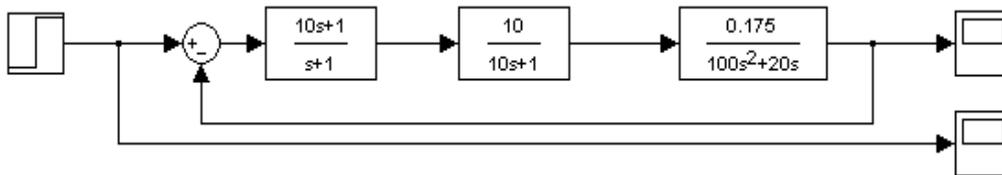


Рисунок 1 – Моделирование исследуемой системы в среде Matlab/Simulink

Полученные переходные процессы приведены на рисунке 2.

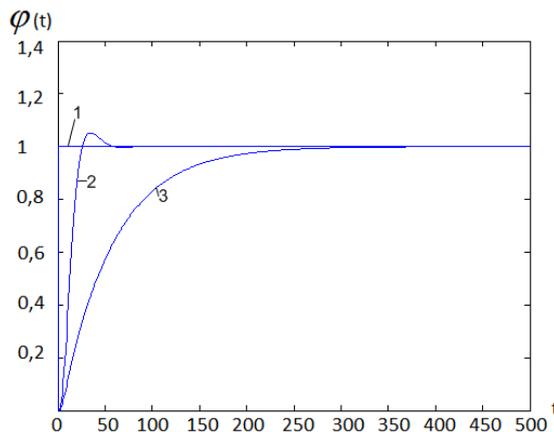


Рисунок 2 – Переходные процессы в системе управления курсом судна: 1-желаемый курс судна ,2-реальный курс судна с минимальными значениями параметров; 3-реальный курс судна с максимальными значениями параметров

На рисунках 3 приведены переходные процессы в системе управления при максимальных и минимальных значениях параметров соответственно, а так же эталонные переходные процессы с указанными степенями устойчивости.

Приведенные на рисунке 3 зависимости позволяют оценить фактическое значение степени устойчивости при текущих параметрах судна (при максимальных переменных параметрах  $\alpha = 0,01$ , при минимальных –  $\alpha = 0,05$ ).

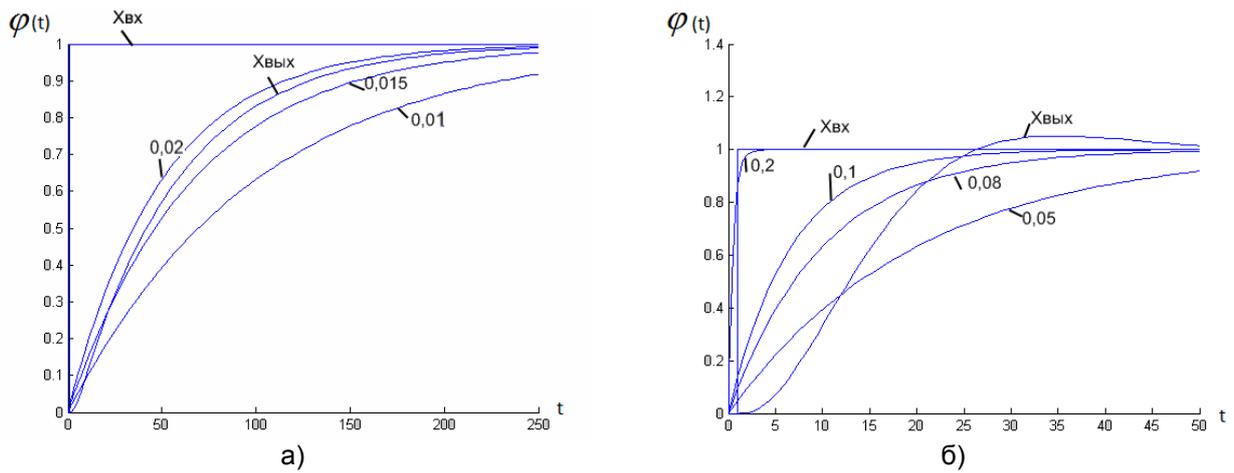


Рисунок 3 – Переходные процессы в системе управления при максимальных (а) и минимальных (б) значениях параметров

Качество процессов в системе управления определяется как параметрами объекта, так и настройками регулятора. На рисунке 4 приведены переходные процессы в системе управления для различных коэффициентов  $K1$  и  $K2$  с минимальными и максимальными значениями момента инерции и коэффициента вязкого сопротивления. Анализ графиков позволяет выбрать параметры регулятора обеспечивающего степень устойчивости близкую к заданной  $\alpha = 0,03$ , при любых значениях изменяющихся параметров (рисунок 5). При этом значения регулятора соответственно равны  $K1 = 12$ ;  $K2 = 1,5$ .

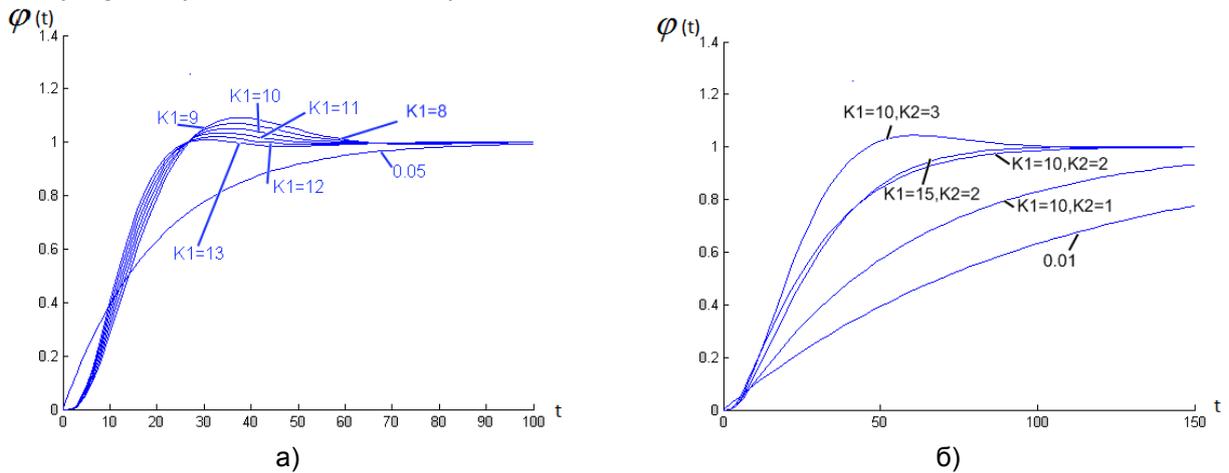


Рисунок 4 – Переходные процессы в системе управления для различных коэффициентов  $K1$  и  $K2$  с минимальными (а) и максимальными (б) значениями момента инерции и коэффициента вязкого сопротивления

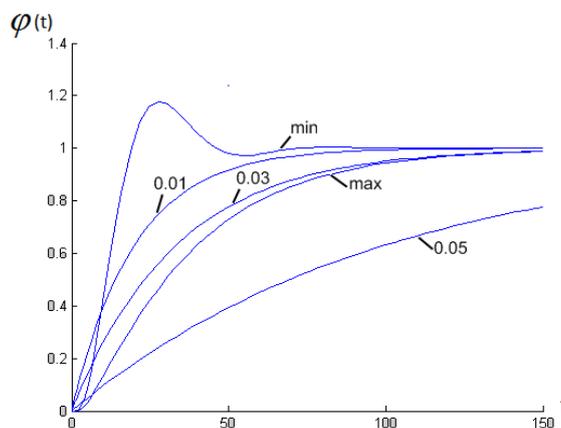


Рисунок 5 – Параметры регулятора обеспечивающего степень устойчивости близкую к заданной  $\alpha = 0,03$ , при любых значениях изменяющихся параметров

Таким образом, показатель «степень устойчивости» может быть использован для синтеза систем управления объектами с интервальными параметрами, в частности для систем управления курсом судна.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. -Изд. 4-е, перераб. и доп. -СПб.: Профессия, 2003. -752 с.: ил.
- 2 Ким, Д.П. Теория автоматического управления. Т.1. Линейные системы / Д.П. Ким. -М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. -288 с.
- 3 Лукомский, Ю.А. Системы управления морскими подвижными объектами: учебник / Ю.А. Лукомский, В.С. Чугунов. -Л.: Судостроение, 1988. -272 с.
- 4 Ross, A. Identification of underwater vehicle hydrodynamic coefficients using free decay test /A. Ross, T.I. Fossen, T.A. Johansen // IFAC. -2004. -P. 363-368.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** робастное управление, устойчивость, вариационные параметры, степень устойчивости  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Дыда Александр Александрович, докт, техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
Чинчукова Елена Павловна, аспирант ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
Воробьева Светлана Андреевна, 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»

## НЕЙРОСЕТЕВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИКИ МОРСКИХ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

**А.А. Дыда, Е.А. Константинова**

**NEURAL NETWORK IDENTIFICATION OF SEA SHIPS DYNAMIC**  
«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»  
A.A. Dyda, E.A. Konstantinova

The paper is devoted to the problem of simulation of sea ships dynamics on the basic of recurrent neural networks (RNN). Numerical experiments has shown that RNN can be trained to follow reference trajectory that are generated by real controllable object or any models.

*Keywords: mathematical model, sea ship*

Рассмотрена проблема имитации динамики морских подвижных объектов (МПО) с помощью рекуррентных нейросетей. Числовые эксперименты показали правомочность замены нейросетями реальных объектов.

Морские подвижные объекты (МПО) представляют собой класс сложных динамических систем со значительной неопределенностью и нестабильностью своих характеристик. Движение МПО обладает особенностями, затрудняющими построение его системы управления. Это нестационарность МПО, нелинейность уравнений динамики, многомерность и многосвязность, структурно-параметрическая неопределенность, значительное влияние внешней среды.

Наиболее распространенным методом исследования движения и управления МПО является математическое моделирование. Общая математическая модель движения судна представляет собой систему дифференциальных уравнений, при подстановке в которую соответствующих характеристик судна и внешних воздействий можно описать произвольное движение заданного судна [1-3]. Полная математическая модель движения морского подвижного объекта сложна и малоприспособна для исследования систем управления. На сегодняшний день разработано значительное количество математических моделей МПО. Распространенными линеаризованными моделями МПО (судна) являются модели Номото 1-го и 2-го порядка. Модель Номото 1-го порядка записывается в виде

$$T_1 \frac{d\omega}{dt} + \omega = K\delta, \quad (1)$$

и имеет два параметра  $T_1$  и  $K$ . Параметр  $T_1$  характеризует устойчивость судна на курсе, параметр  $K$  – его поворотливость. Само уравнение устанавливает дифференциальную зависимость угловой скорости  $\omega$  поворота судна вокруг вертикальной оси от кладки руля  $\delta$ . В описываемых ниже примерах  $\omega$  обозначено символом  $x$ , воздействие – символом  $u$ .

В настоящее время существует возможность применения нейросетевых технологий идентификации и управления, успешно зарекомендовавших себя в областях автоматического управления сложными, плохо формализованными объектами. Искусственные нейронные сети (ИНС) могут выявлять существующую связь между входными и выходными данными и автоматически настроиться на нее. Таким образом, даже без знания математической модели, при использовании обучающей выборки можно настроить ИНС для решения практических задач [4, 5].

При использовании ИНС в качестве модели МПО нейронная сеть рассматривается как эмулятор системы управления судном. В данной статье в качестве исследуемой исходной модели рассматривается математическая модель Номото первого и второго порядка. В случае несоответствия между действительным выходным сигналом и выходом модели ИНС осуществляет подборку своих весовых коэффициентов таким образом, чтобы минимизировать ошибку расхождения. Благодаря своим универсальным аппроксимирующим свойствам, ИНС представляют собой достойный инструмент для решения задачи идентификации нелинейных динамических объектов управления.

В настоящей статье рассматривается структура рекуррентной ИНС, представленная на рисунке 1, где  $u$ -входное воздействие;  $Z^{-1}$ -звено единичного запаздывания;  $N(w,v)$ -блок передачи, представляющий, в общем случае, многослойную ИНС прямого распространения;  $w, v$ -символы весовых коэффициентов нейросети.

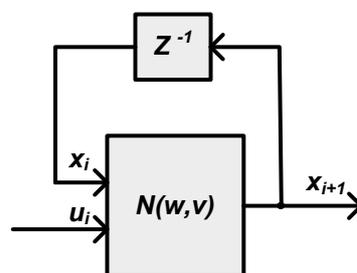


Рисунок 1 – Структура рекуррентной ИНС

Следует выделить два основных режима работы ИНС: режим обучения и режим тестирования. Суть обучения рекуррентной ИНС заключается в минимизации интегральной квадратичной ошибки, которая представляет собой разницу между процессами в эталоне (например, реальном объекте управления) и в настраиваемой нейросети. В режиме обучения осуществляется подборка оптимизацией весовых коэффициентов матриц связей ИНС заданной архитектуры.

После обучения блока  $N(w,v)$  рекуррентная ИНС замыкается обратной связью через звено единичного запаздывания и используется уже как настроенная модель динамического объекта.

Численные эксперименты показали, что в идеальных условиях даже простейшая сеть, состоящая из двух слоев по два нейрона, может справиться с задачей эмуляции модели Номото первого порядка.

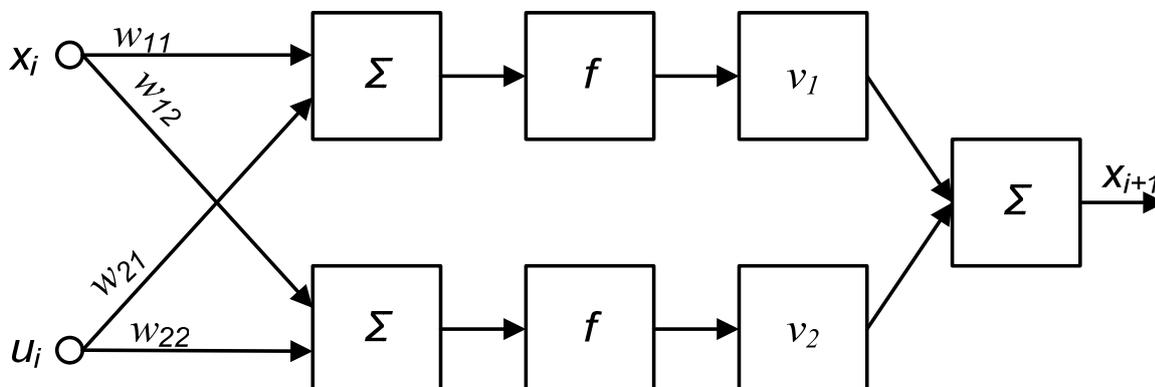


Рисунок 2 – Двухслойная ИНС для эмуляции модели Номото первого порядка

Подстройка весовых коэффициентов производится с помощью инструмента оптимизации MS Excel (надстройки Поиск решения). Для этого в целевую ячейку записывается требование минимизации значения ошибки, которое в данном рассматриваемом случае считается

как сумма квадратов разницы между значениями выборки и реакцией обученной сети. Переменные ячейки, содержат значения весов  $w_{11}, w_{12}, w_{21}, w_{22}$  и коэффициенты каждого нейрона  $v_1$  и  $v_2$ , значения которых изменяются для достижения поставленной цели – минимизации ошибки.

Перед обучением выполняется инициализация нейронной сети – всем коэффициентам  $w_{11}, w_{12}, w_{21}, w_{22}, v_1, v_2$  были присвоены единичные значения, входное воздействие описывается функцией  $u = \sin(t) + \sin(2t)$ , для активационной функции нейрона выбран арктангенс.

Работа ненастроенной сети представлена на рисунке 3. Квадрат разницы между значениями выборки и реакцией обучаемой сети – кривая  $[x(t_i) - x(t_{i+1})]^2$  показывает ошибку в ненастроенной сети. Значение целевой ячейки – сумма квадратов разницы между значениями выборки и реакцией обучаемой сети составляет 158,1409.

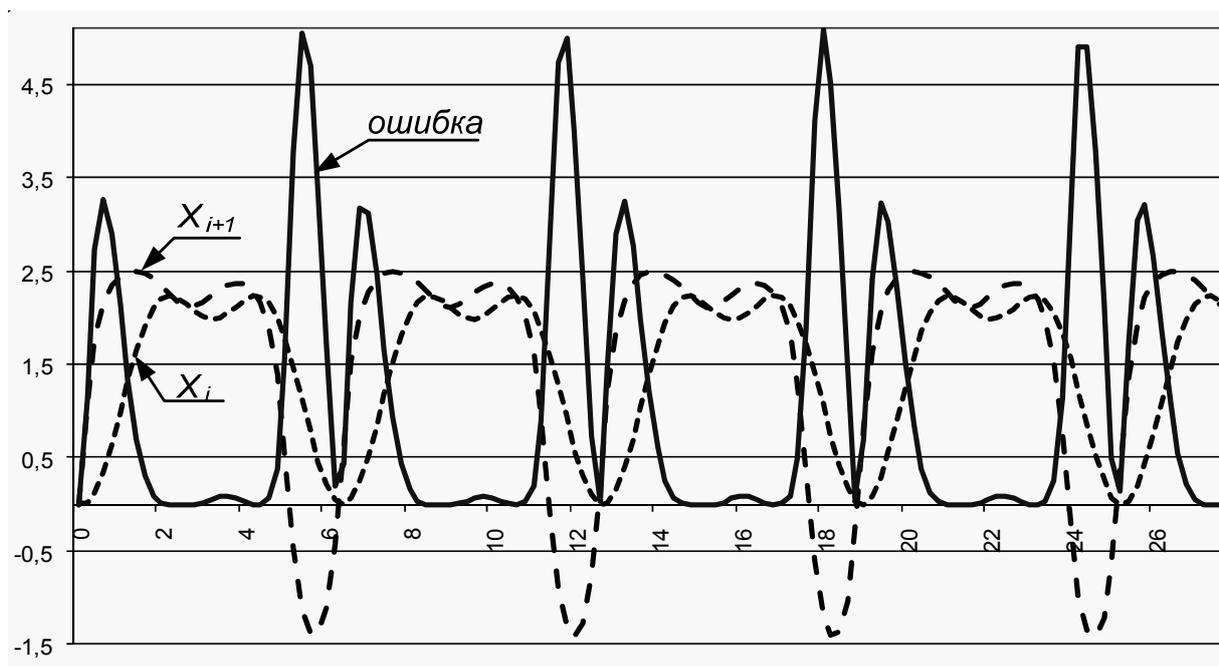


Рисунок 3 – Ненастроенная сеть

После использования команды Поиск решения программа находит оптимальное значение целевой ячейки и просчитывает значения переменных ячеек, необходимые для достижения оптимального результата целевой ячейки. При коэффициентах  $v_1 = 11,8619$ ;  $v_2 = 7,595786$ ;  $w_{11} = 0,048001$ ;  $w_{21} = -0,02423$ ;  $w_{12} = 0,057248$ ;  $w_{22} = 0,037892$ , значение целевой ячейки равно  $5,74 \cdot 10^{-5}$ . Графики значений обучающей выборки и значений обученной сети практически слились, график функции ошибки совместился с абсциссой. Полученный результат приведен на рисунке 4.

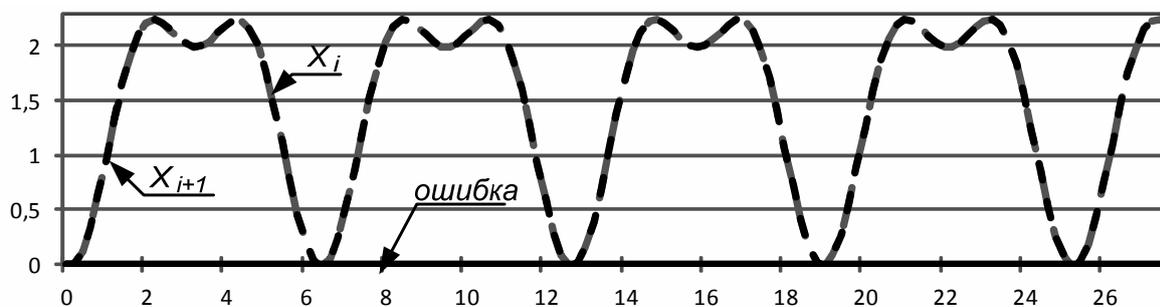


Рисунок 4 – Настроенная сеть

Было проведено тестирование сети на экстраполированных данных и получен хороший результат тестирования обученной сети.

Подобным образом было проведено обучение ИНС с эмуляцией модели Номото второ-

го порядка. Модель Номото 2-го порядка обычно записывают в виде

$$T_1 T_2 \frac{d^2 \omega}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{d\omega}{dt} + \omega = K \delta, \quad (2)$$

или, во введенных ранее обозначениях

$$T_1 T_2 \ddot{x} + (T_1 + T_2) \dot{x} + x = ku, \quad (3)$$

откуда при обозначении

$$\dot{x}_1 = x_2, \quad (4)$$

можно вывести

$$\dot{x}_2 = -\frac{(T_1 + T_2)x_2 - x_1 + ku}{T_1 T_2}. \quad (5)$$

Введя следующие обозначения:

$$a = \frac{T_1 + T_2}{T_1 T_2}; \quad b = \frac{1}{T_1 T_2}; \quad c = \frac{k}{T_1 T_2}, \quad (6)$$

получается

$$\dot{x}_2 = -ax_2 - bx_1 + cu. \quad (7)$$

Используя запись в разностных выражениях, получается следующая зависимость

$$x_1(t + \Delta t) = x_1(t) + x_2(t) \Delta t; \quad x_2(t + \Delta t) = x_2(t) + \Delta t(-ax_2 - bx_1 + cu). \quad (8)$$

ИНС, эмулирующая модель Номото второго порядка представлена на рисунке 5.

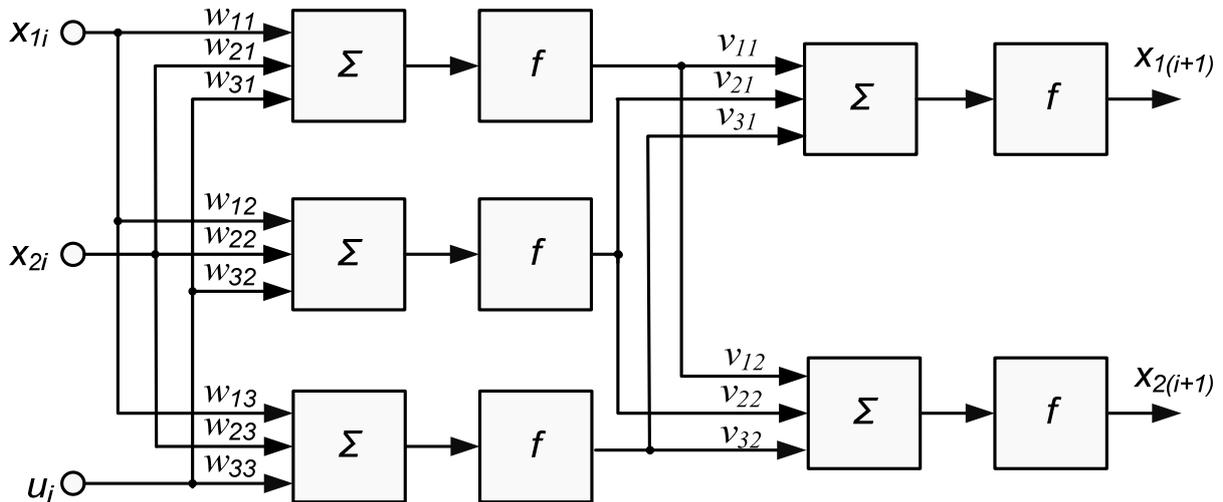


Рисунок 5 – ИНС, эмулирующая модель Номото второго порядка

При инициализации ИНС  $w_{11} \dots w_{33}$ ,  $v_{11} \dots v_{32}$ , были присвоены единичные значения, входное воздействие описывается функцией  $u = \sin(t) + \sin(2t)$ , для активационной функции нейрона первого слоя выбран арктангенс, выходного – линейная. Результат работы ненастроенной сети представлен на рисунке 6.

Квадрат разницы между значениями выборки и реакцией обученной сети – кривые  $[x_{1i} - x_{1(i+1)}]^2$  и  $[x_{2i} - x_{2(i+1)}]^2$  (соответственно кривые *a* и *b* на рисунке 6 соответственно) показывает ошибку в ненастроенной сети. Сумма квадратов разницы между значениями выборки и реакцией обучаемой сети составляет 7,7 и 3,7.

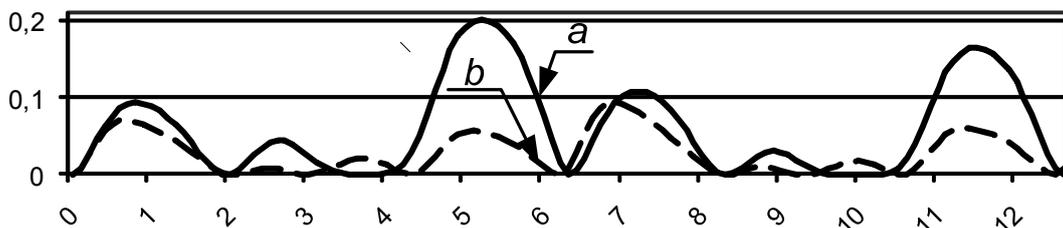


Рисунок 6 – Ненастроенная сеть

При использовании команды Поиск решения были получены оптимальные значения весовых коэффициентов, при которых значения суммы квадратов разницы равны  $4,74 \cdot 10^{-4}$  и 0,001. Графики значений обучающей выборки и значений обученной сети имеют незначительную разницу, графики функции ошибки практически совместились с абсциссой. Полученный результат приведен на рисунке 7.

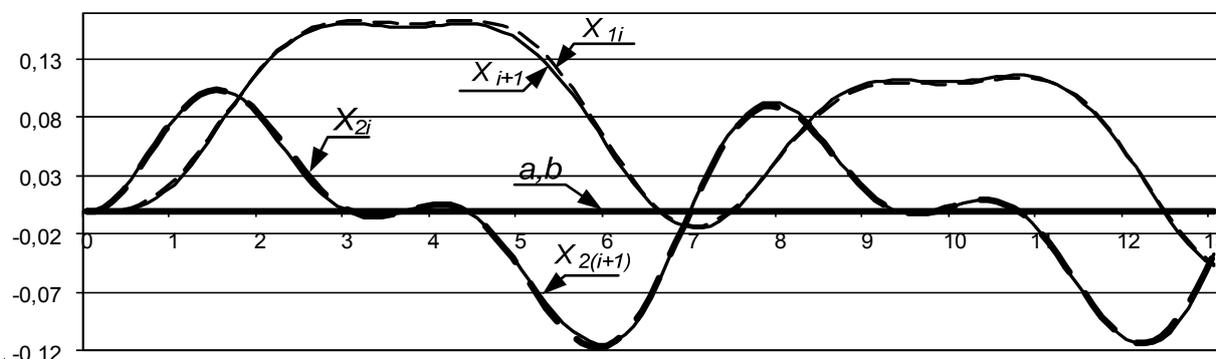


Рисунок 7 – Настроенная сеть

Тестирование с данными, не вошедшими в обучающую выборку, показало хороший результат. Моделирование с изменением коэффициентов модели Номото приводит к увеличению количества нейронов в слоях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Вагущенко, Л.Л. Системы автоматического управления движением судна / Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал. -2-е изд., перераб. и доп. -Одесса: Латстар, 2002. -310 с.
- 2 Юдин, Ю.И. Метод расчёта параметров математической модели судна / Ю.И. Юдин, А.Н. Гололобов, А.Г. Степахно //Вестн. МГТУ. -2009. -Т.12, №1. -С. 5-9.
- 3 Семенов, А.Д. Идентификация объектов управления: учеб. пособие / А.Д. Семенов, Д.В. Артамонов, А.В. Брюхачев. -Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. -211 с.
- 4 Narendra, K. Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks / K. Narendra, K. Parthasarathy // IEEE Trans. on Neural Networks. -1990. -Vol.1, N1 (march).
- 5 Омату, С. Нейроуправление и его приложения / С. Омату, М. Халид, Р. Юсуф. -М.: ИПРЖР, 2000. -272 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** адаптивное управление, устойчивость, переменные параметры, степенные ряды  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Дыда Александр Александрович, докт, техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
 Константинова Елена Анатольевна, 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»

## СПОСОБ ПРОЕКТНОГО УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ДОМИНИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СУДНА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

АОЗТ «Нептун-Судомонтаж»

**М.Э. Францев**

**WAY TO PROJECT ACCOUNTING IMPACT OF THE DOMINANT FACTORS IN THE DESIGN OF OPERATING A VESSEL MADE OF COMPOSITE MATERIALS**  
 «Neptun-Sudomontazh»  
 M.E. Frantsev

This article about the method is taken into account the dominant factors for exploitation in project of boat at creating a vessel from composites. The boat hulls of prototype are studying by methods for non-destructive testing. Then the results of this studies correlate with the exploitation's characteristics and the resource use of these boats.

*Keywords: the projecting of the vessel, composite materials, dominating factors operating*

Предложен способ проектного учета доминирующих факторов эксплуатации при создании судна из композиционных материалов путем исследования корпусов судов-прототипов методами неразрушающего контроля и определения взаимосвязи между результатами этих исследований, эксплуатационными характеристиками судов и ресурсом их использования.

Современный этап развития судостроения характеризуется все более широким применением композиционных материалов для корпусных конструкций. Как известно, с физической точки зрения композит представляет собой сложный материал, который обладает свойствами, отсутствующими у его компонентов в чистом виде. Масштабное использование композитов в качестве конструкционного материала в малотоннажном судостроении привело к тому, что по мере накопления опыта проектирования, строительства и эксплуатации судов из композитов, конструкция их корпусов стала все больше и больше отличаться от конструкции корпусов судов, изготовленных из традиционных материалов. Сегодня можно говорить о создании принципиально другой конструкции корпуса судна из композитов, наилучшим образом использующей некоторые положительные качества этих материалов.

Корпус современных судов из композитов – это система поверхностей, образующих объемно-прочную конструкцию. И корпус без палубы, и палуба без корпуса не обладают достаточной прочностью и жесткостью. Только после соединения их в единое целое, установки в жесткий контур продольных и поперечных переборок, они приобретают необходимый набор качеств. При этом каждая из поверхностей корпуса и палубы имеет свой набор механических свойств. Эти свойства могут изменяться, как по толщине поверхности, так и по ее площади [7, 9].

В процессе эксплуатации на корпус судна из композиционных материалов действуют различные эксплуатационные нагрузки. Природа, характер и продолжительность воздействия этих нагрузок на корпус судна из композитов целиком и полностью идентичны аналогичным характеристикам эксплуатационных нагрузок, действующим на корпуса судов, изготовленных из традиционных материалов. В то же время, характер реагирования композиционных материалов судовых корпусных конструкций на действие эксплуатационных нагрузок изучен мало. В связи с этим при проектировании судовых конструкций из композитов проблемы их долговечности решаются не вполне корректно.

Одним из ключевых вопросов проектирования судов из композиционных материалов является обеспечение прочности и долговечности созданных конструкций в заданных условиях эксплуатации.

В работе [1] указано, что желательно, чтобы результаты работ по строительной механике корабля и конструкции корпуса шире использовались при создании методов определения массы корпуса.

В соответствии с принципами строительной механики корабля, обеспечение прочности представляет собой сложную систему взаимодействующих между собой подсистем: нагрузки, размеров, формы конструкции и конструкционных материалов.

В рамках взаимодействия этих подсистем существует целый ряд классификаций:

- внешних сил (например, случайные, постоянные, непрерывно меняющиеся, статические переменные, динамические);
- напряжений (например, общие и местные);
- условий, приводящих к разрушению.

На этой основе, как правило, назначаются критические пределы, а также нормы допускаемых напряжений, в соответствии с системой нормирования прочности построенной на учете статистического и отчасти временного факторов (для переменных нагрузок) [2].

В развитие идей И.Г. Бубнова, современные трактовки вопросов нормирования прочности судов дополнились следующими новыми аспектами, такими как:

- разделение начального подхода на метод напряжений и метод предельных нагрузок;
- рассмотрение комплекса классических теорий прочности и анализ их применимости к различным случаям нагружения корпусных конструкций.

Доминирующие факторы эксплуатации разделяются на две группы:

- доминирующие факторы эксплуатации, действующие на судно независимо от материала его корпуса;
- доминирующие факторы эксплуатации, действующие на композиционный материал корпуса судна.

К первой группе доминирующих факторов, которые влияют на подсистему, объединяю-

щую архитектурно-компоновочную схему судна, его вместимость и нагрузку масс, а также подсистему в виде гидродинамического комплекса судна, можно отнести следующие факторы:

- ветровое воздействие;
- волнение;
- ледообразование и обледенение;
- мелководье.

Влияние данной группы доминирующих факторов эксплуатации на подсистемы судна независимо от материала его корпуса изучено к настоящему времени всесторонне.

Ко второй группе доминирующих факторов, которые влияют непосредственно на подсистему «Корпус» судна из композиционных материалов можно отнести следующие факторы:

- нагрузки;
- увлажнение;
- нагрев;
- воздействие солнечного света (старение).

Одним из важных факторов, влияющих на снижение прочности судовой корпусной конструкции, является развитие в ней эксплуатационных дефектов. В качестве одного из достоверных критериев уменьшения характеристик ее прочности может служить динамика их развития [7, 8, 9].

В корпусах судов из композитных материалов в процессе эксплуатации возникают дефекты различного характера. Дефекты развиваются в конструкции с момента ее изготовления в течение всего срока службы. Развитие дефектов в корпусной конструкции ведет к снижению ее прочностных качеств и способности противостоять неблагоприятным эксплуатационным воздействиям.

Влияние каждого вида дефекта на физико-механические свойства судовой конструкции из композитов различно. Наружные дефекты в начальный период эксплуатации судна заметного влияния на механические свойства материала не оказывают. Однако со временем эти поверхностные дефекты могут привести к значительному ослаблению материала, если конструкция работает в условиях агрессивных сред. Под действием воды незащищенные полимерной матрицей армирующие материалы быстро разрушаются, что приводит к снижению физико-механических свойств композита и, следовательно, к сокращению срока эксплуатации судна.

В отличие от внешних дефектов, влияние внутренних дефектов, как правило, отражается на физико-механических характеристиках композита с самого начала, причем со временем это влияние усугубляется. Большинство внутренних дефектов оказывает отрицательное влияние на физико-механические свойства композита. Степень влияния определяется видом дефекта, его размером, местоположением и условиями работы материала. Величина снижения механических свойств дефектного композита зависит, как от типа связующего и армирующих материалов, образующих композит, так и от технологии формования корпуса.

Присутствие одних видов дефектов бывает тесно связано с наличием других. Поэтому не всегда удается выделить влияние отдельного вида дефекта на физико-механические характеристики всей конструкции. Однако из опыта эксплуатации конструкций из композиционных материалов известно, что наибольшее влияние на работоспособность конструкции оказывают две крупные группы дефектов: дефекты типа расслоение и дефекты, связанные с воздействием на композит воды, больше известные под обобщающим названием – осмос. Обе группы дефектов по мере своего развития в судовой конструкции из композитов способствуют существенному снижению ее прочности. Перечисленные виды дефектов в процессе эксплуатации судна могут быть выявлены при помощи дефектоскопии с использованием методов неразрушающего контроля [7-9].

Наблюдение процессов развития внутренних дефектов в виде расслоений с помощью различных методов неразрушающего контроля дает возможность оценки изменения механических свойств композиционных материалов в процессе эксплуатации. Поэтому разработка норм проектной годности конструкции с точки зрения существования в ней дефектов тесно переплетается с проблемой прогнозирования динамики их развития и параллельного изменения прочности конструкции в сторону ее снижения.

Существует несколько точек зрения на проблему прогнозирования изменения прочности композиционных материалов. Широко распространенный традиционный путь прогнози-

рования и нормирования прочности корпусных конструкций, базирующийся на эмпирических подходах и непосредственном увязывании расчетных коэффициентов запаса прочности с результатами целенаправленно поставленных экспериментов постепенно утрачивает свою эффективность. Для решения указанной задачи необходимо в прогнозную расчетную схему внести предположения о накоплении повреждений в материале конструкций в процессе эксплуатации. При этом необходимо учитывать все факторы эксплуатации, оказывающие значимое влияние на работоспособность конструкций из композита. Понятно, что введение в расчет элементов, учитывающих действие подобных эксплуатационных факторов, значительно усложняет и удорожает расчеты прочности и жесткости, нивелируя достигнутую в других разделах проекта экономию.

Выявление и изучение влияния эксплуатационных факторов на развитие дефектов, а также самой динамики их развития, дает ключ к оценке надежности и долговечности корпусных конструкций из композиционных материалов. Исследование динамики развития дефектов позволяет достоверно оценивать изменение технического состояния корпуса судна из композитов в процессе эксплуатации, прогнозировать изменение его эксплуатационной прочности в течение всего срока службы и, в конечном итоге, делать выводы о долговечности конструкции в целом [9].

Особенности разрушений композитов, возникающих на структурном уровне (дробление волокон, расслоение по границам компонентов, растрескивание матрицы), связанные с многообразием эксплуатационных ситуаций, требуют создания специализированных структурных моделей этих материалов. В то же время, имеющиеся математические модели микро-неоднородных сред пока не в состоянии достаточно полно учесть многообразие реальных механизмов разрушения на микроуровне. При их применении значительная часть экспериментальной информации об отдельных особенностях разрушений в композитах на микроуровне, сопровождающихся накоплением повреждений, остается без эффективного использования [3-5].

Необходимо отметить, что специфика изменения характера и механизма динамического разрушения полимерных материалов в жидкостях, связанного с изменением температуры и влажности материала, что характерно, например, для наружной обшивки корпуса судна с динамическим поддержанием, создает принципиальные затруднения в разработке методов ускоренных динамических испытаний, воспроизводящих реальные условия.

Исследование разрушений, связанных с действием на судовые конструкции из композитов интенсивных импульсных нагрузок, должно развиваться в нескольких направлениях. Наряду с совершенствованием техники эксперимента, расширением исследований по разработке моделей поведения конструкционных материалов в условиях интенсивных ударных нагрузок, повышением роли численного эксперимента необходима регистрация степени поврежденности материала в зоне разрушения в разных опытах.

В зависимости от интенсивности напряжений такая регистрация дает информацию о кинетике и характере развития процесса разрушения, что, в конечном итоге, позволяет определить уровни нагружения, соответствующие зарождению повреждений на микроскопическом уровне. Такие исследования, позволяют фактически обнаружить и оценить процессы разрушения в композиционных материалах, проходящие задолго до их окончательного разрушения [5].

Наблюдение с помощью различных методов неразрушающего контроля процессов усталостного развития внутренних дефектов в виде микротрещин и расслоений дает возможность оценки изменения механических свойств композиционных материалов в процессе эксплуатации. Это позволяет выдвинуть ряд новых теорий и критериев прочности, основанных на концепции накопления повреждений [5].

Исследования, направленные на регистрацию степени поврежденности композиционного материала в зоне разрушения, в сочетании с численными экспериментами и моделированием при помощи вычислительной техники динамических эффектов, сопутствующих разрушению хрупких компонентов, позволяют глубже понять качественное многообразие ситуаций, возникающих при накоплении повреждений в композите на микроструктурном уровне. Выявление динамических эффектов и исследование их влияния на развитие разрушения композиционных материалов приобретает особое значение при разработке структурных моделей композитов и имитации на ЭВМ взаимодействия отдельных разрушения на микроскопическом уровне [3, 4].

В настоящее время выполняются работы по определению дефектов корпусов судов из

композиционных материалов возрастом старше пяти лет, находящихся в эксплуатации под техническим наблюдением Московского филиала Российского Речного Регистра. Эта работа сопровождается аналитической и методической обработкой полученных результатов. В 2007-2010 годах методами неразрушающего контроля было обследовано более 118 корпусов судов из композиционных материалов в соответствии с определенной методикой. Обследованные корпуса судов из композитов имеют ресурс использования, в среднем, не более 200 ч движения в навигацию или, в среднем, не более 1000 ч за пять лет [6].

Анализ результатов исследований, направленных на регистрацию степени поврежденности композиционного материала в зоне разрушения, в сочетании с количественным подтверждением качественной зависимости концентрации внутренних дефектов типа расслоение от эксплуатационных характеристик судна из композиционных материалов дает возможность получить информацию о кинетике и характере развития процесса разрушения. Это, в конечном итоге, позволяет определить уровни нагрузок, соответствующие развитию повреждений на микроскопическом уровне. Такие исследования, позволяют фактически обнаружить и оценить процессы разрушения в композиционных материалах, проходящие задолго до их окончательного разрушения [3-5].

Для оценки зависимости между возникновением внутренних дефектов типа расслоение, доминирующими факторами эксплуатации и эксплуатационными качествами судов из композитов необходим критерий, позволяющий связать между собой эти характеристики, условия и процессы. В качестве такого критерия можно рассматривать величину концентрации дефектов на поверхности судового корпуса.

При эксплуатации судовые конструкции из композитов подвергаются действию самых различных нагрузок, меняющихся во времени. Поэтому применительно к конструкционным жестким композиционным материалам, не обладающим восстановительными свойствами, пригодную для практического применения основу дает кинетическая теория прочности в сочетании с гипотезой линейного суммирования повреждений в соответствии с критерием Бейли.

На основании выполненных исследований произведен расчет концентрации внутренних дефектов типа расслоение в соответствии с критерием Бейли для группы судов на основании базы данных судов из композитов, прошедших операцию дефектоскопии в 2007-2010 гг. В этом расчете предпринята попытка получить при помощи количественных оценок подтверждение качественной зависимости концентрации внутренних дефектов типа расслоение от эксплуатационных характеристик судна из композиционных материалов в виде энерговооруженности, ресурса времени и интегрированного ресурса использования. Полученные значения величины коэффициента концентрации аппроксимированы по линейному закону (рисунок).

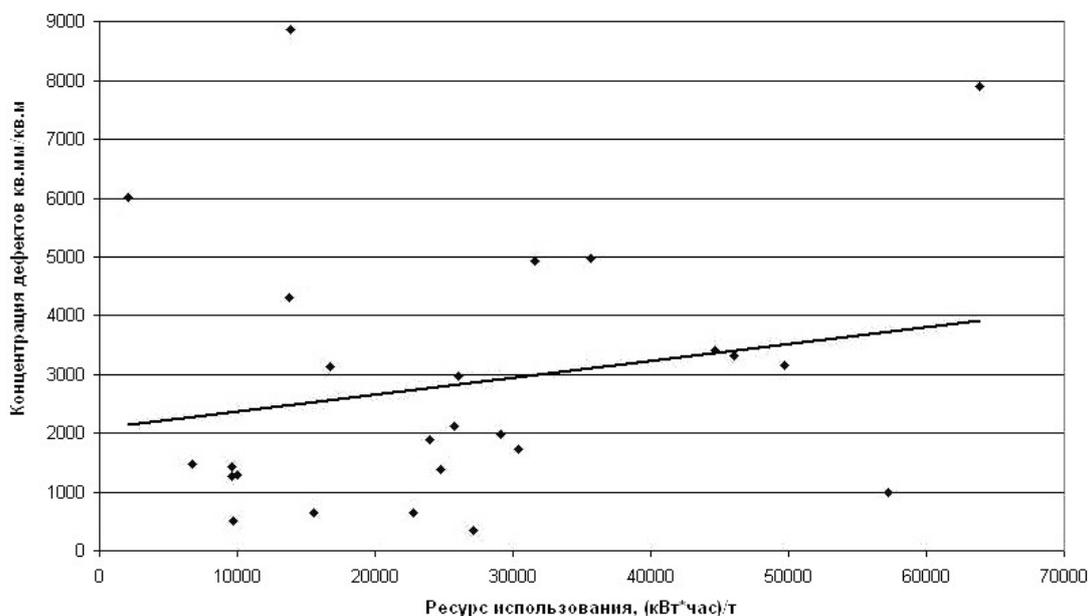


Рисунок – Зависимость концентрации дефектов от интегральной величины в виде произведения энерговооруженности и ресурса использования корпуса

Выполненный расчет подтверждает принципиальную возможность применения гипотезы линейного суммирования повреждений в варианте Бейли для анализа и прогнозирования изменения характеристик долговечности корпусов судов из композитов под действием эксплуатационных нагрузок. Расчет также подтверждает существование взаимосвязи между эксплуатационными характеристиками судна из композитов в виде энерговооруженности и различных форм ресурса использования и концентрацией дефектов.

Таким образом, прогнозирование изменения характеристик долговечности корпуса судна из композитов может рассматриваться, как расчет значений функции на определенном интервале

$$K = f(t),$$

где  $K$  – коэффициент концентрации расслоений;

$t$  – ресурс использования корпуса.

В то же время, для получения формализованных зависимостей, позволяющих анализировать и прогнозировать изменение характеристик долговечности корпусов судов из композитов, требуется обработка данных методами статистического анализа по достаточно большому количеству однотипных судов.

Использование данных о динамике развития эксплуатационных дефектов в корпусных конструкциях близкого прототипа, полученных методами неразрушающего контроля, при новом проектировании может позволить достоверно учесть всю гамму ожидаемых эксплуатационных факторов. Это может позволить выдвинуть ряд новых теорий и критериев прочности судовых корпусных конструкций из композиционных материалов, основанных на концепции накопления повреждений в процессе эксплуатации. Кроме того, оно позволит прогнозировать изменение его эксплуатационной прочности в течение всего срока службы и, в конечном итоге, делать выводы о долговечности конструкции из композиционного материала в целом без существенного удорожания проектирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ашик, В.В. Проектирование судов / В.В. Ашик. -Л.: Судостроение, 1985. -486 с.
- 2 Бубнов, И.Г. Строительная механика корабля. Ч.1 / И.Г. Бубнов. -СПб.: Изд-во Мор. М-ва, 1912. -330 с.
- 3 Бураковский, Е.П. Об одной задаче нормирования общей прочности корпусов судов, содержащих эксплуатационные дефекты / Е.П. Бураковский, В.А. Дмитриевский // Сборник научных трудов Калининградского государственного технического университета, посвященный 300-летию Российского флота. -Калининград, 1996. -С. 251-262.
- 4 Бураковский, Е.П. Применение теории потоков при оценке и прогнозировании технического состояния корпусных конструкций, содержащих эксплуатационные дефекты / Е.П. Бураковский, В.А. Дмитриевский // Сборник научных трудов Калининградского государственного технического университета, посвященный 300-летию Российского флота. -Калининград, 1996. -С. 263-278.
- 5 Композиционные материалы: справочник / В.В. Васильев [и др.]. -М.: Машиностроение, 1990. -512 с.
- 6 Результаты освидетельствований корпусов судов из композиционных материалов, находящихся под техническим наблюдением Московского филиала РРР, методами неразрушающего контроля в 2007 году: науч. -техн. отчет / Моск. фил. Рос. Реч. Регистра. -М, 2007. -48 с.
- 7 Францев, М.Э. Изучение проектных и эксплуатационных способов обеспечения безопасности судов из композиционных материалов / М.Э. Францев // Сборник докладов Международного семинара «Суда будущего» Секции «Проектирование судов» Центрального Правления НТО судостроителей им. Акад. А.Н. Крылова. -СПб, 2007. -С. 20-24.
- 8 Францев, М.Э. Обоснование проектных критериев эксплуатационной прочности и долговечности композитных катеров // Сборник докладов Международного семинара «Суда будущего» Секции «Проектирование судов» Центрального Правления НТО судостроителей им. Акад. А.Н. Крылова. -СПб., 2007. -С. 86-91.
- 9 Францев, М.Э. Проектная оценка эксплуатационных нагрузок и характеристик долговечности корпусов судов из композиционных материалов / М.Э. Францев // Мор. вестн. -2008. -№4(28). -С. 93-98.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** проектирование судов, композиционные материалы, доминирующие факторы эксплуатации  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Францев Михаил Эрнстович, канд. техн. наук, директор АОЗТ «Нептун-Судомонтаж»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 141703, Московская область, г. Долгопрудный, пос. Водники, АОЗТ «Нептун-Судомонтаж»

## **ПРИМЕНЕНИЕ СТЕПЕННЫХ РЯДОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КУРСОМ СУДНА**

**ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»**

**А.А. Дыда, Е.П. Чинчукова, М.В. Шевченко**

### **THE USE OF POWER SERIES TO CONSTRUCT AN ADAPTIVE CONTROL SYSTEM THE SHIP'S COURSE**

**«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»**

**A.A. Dyda, E.P. Chinchukova, M.V. Shevchenko**

Ship is an example of a dynamic object with structural and parametric uncertainty. This paper is devoted to research of the possibility adaptive control system design with power series.

*Keywords: adaptive control, stability, variation parameters, power series*

Судно является объектом со структурно-параметрической неопределенностью. В работе исследуется перспективность подхода к построению адаптивной системы управления подобными объектами на основе представления математической модели с применением степенных рядов.

Большинство известных методов построения систем управления движением морских подвижных объектов (МПО) основываются на приближенных линейных моделях с постоянными параметрами [2]. Это допущение вполне оправдано для случая сравнительно малых отклонений переменных. При глубоком маневрировании МПО точность линеаризованных математических моделей значительно снижается и для их усовершенствования требуется учет нелинейностей.

Одним из наиболее существенных факторов, оказывающих влияние на динамику МПО и, в частности, судна является воздействие окружающей водной среды, которое проявляется в присоединении водных масс и вязком сопротивлении в процессе движения объекта. Значение присоединенных масс и моментов инерции, а так же аналитический вид функций, описывающих силы и моменты вязкого сопротивления, априорно неизвестны. Традиционным путем определения этих характеристик является экспериментальные исследования и последующая обработка полученных результатов. Такой подход связан со значительными затратами. Кроме того, при изменении конфигураций, загрузки судна, могут потребоваться повторные экспериментальные исследования.

Более эффективный подход, на наш взгляд, состоит в применении принципа адаптивного управления, совмещающего процесс исследования объекта (идентификации) и управления им [1]. Построение большинства алгоритмов адаптивного управления основано на предположении о том, что вид нелинейной функции, входящей в математическую модель объекта, известен.

Анализ научно-технической литературы показывает, что не существует единой математической модели, описывающей силы и моменты вязкого сопротивления, которые испытывает судно при движении в водной среде.

В связи с этим, в настоящей работе считается, что описание указанных сил (моментов) отсутствует. Таким образом, в работе предполагается, что судно является объектом со структурно-параметрической неопределенностью.

Рассмотрим следующую модель судна

$$J\ddot{\phi} = -f(\dot{\phi}) + K\delta, \quad (1)$$

где  $\phi$  – угол (курс судна);

$\dot{\phi}, \ddot{\phi}$  – угловая скорость и ускорение соответственно;

$J$  – общий момент инерции судна, включающий собственный момент инерции  $J_c$  и момент инерции присоединенных масс  $J_n$ ,

$$J = J_c + J_n;$$

$f(\dot{\phi})$  – априорно неизвестная функция, описывающая момент вязкого сопротивления;  
 $K$  – коэффициент эффективности процесса управления;  
 $\delta$  – угол поворота пера руля судна.

В общем случае уравнение МПО может быть представлено

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u. \quad (2)$$

Воспользуемся методом непосредственной компенсации [3]. Представим вектор управления, как некую компенсирующую составляющую (КС), которая обеспечивает полную компенсацию возмущающего влияния функций  $f(x)$  и  $g(x)$ , при известных параметрах функций  $f(x)$  и  $g(x)$  управление выглядит так

$$u = g^{-1}(x)[-f(x) + \dot{x}_d + k(x_d - x)]. \quad (3)$$

Когда параметры функций  $f(x)$  и  $g(x)$  неизвестны, вместо (3) используем управление

$$u = \hat{g}^{-1}(x)[- \hat{f}(x) + \dot{x}_d + k(x_d - x)]. \quad (4)$$

Для систем с переменными параметрами, представим неизвестную функцию с переменными параметрами ОУ как степенной ряд с неизвестными коэффициентами  $a_i$  и  $b_i$ , а компенсирующую составляющую – степенными рядами, с коэффициентами  $\hat{a}_i$  и  $\hat{b}_i$  (данные переменные коэффициенты определяются далее с помощью метода скоростного градиента).

$$f(x) = \sum_{i=1}^N a_i x^i; \quad (5)$$

$$\hat{f}(x) = \sum_{i=1}^N \hat{a}_i x^i; \quad (6)$$

$$g(x) = \sum_{i=1}^N b_i x^i; \quad (7)$$

$$\hat{g}(x) = \sum_{i=1}^N \hat{b}_i x^i. \quad (8)$$

Подставив все представления (4)-(8) в уравнение (2), получим уравнение

$$\dot{x} = \sum_{i=1}^N a_i x^i + \sum_{i=1}^N b_i x^i \left[ - \sum_{i=1}^N \hat{a}_i x^i + \dot{x}_d + k(x_d - x) \right]. \quad (9)$$

Для проверки работоспособности предлагаемого метода промоделируем систему, где  $g(x)$  константа, следовательно, получим уравнение модели

$$\dot{x} = \sum_{i=1}^N (a_i - \hat{a}_i) x^i + \dot{x}_d + k(x_d - x) + V(x), \quad (10)$$

где  $V$  – положительная функция, повышающая скорость сходимости системы управления,

$$V = -v \operatorname{sign} e;$$

$e$  – ошибка,

$$e = x_d - x.$$

Для построения алгоритма настройки коэффициентов воспользуемся методом скоростного градиента [1], найдем переменные параметры  $\hat{a}_i$  разложенной в ряд функции  $\hat{f}(x)$ . Согласно алгоритму построения скоростного градиента, воспользуемся целевой функцией  $Q = e/2$ . Далее необходимо найти ее производную

$$\dot{Q} = e(\dot{x}_d - \dot{x}). \quad (11)$$

Решив уравнение (11), с подстановкой из уравнения (10), определим частные производные от целевой функции, чтобы узнать неизвестные коэффициенты по формуле

$$\dot{\hat{a}}_i = -\gamma \frac{\partial Q}{\partial \hat{a}_i}. \quad (12)$$

Производная целевой функции по времени равна

$$\dot{Q} = e \left[ \sum_{i=1}^N \hat{a}_i x^i - \sum_{i=1}^N a_i x^i - ke - V(x) \right],$$

а частная производная по переменной  $\hat{a}_i$ ,

$$\frac{\partial Q}{\partial \hat{a}_i} = e \hat{a}_i x^i,$$

таким образом, каждый неизвестный параметр в степенном ряду (6) определяется по уравнению

$$\dot{\hat{a}}_i = \gamma e x. \quad (13)$$

Для моделирования системы представим переменные параметры как нелинейную функцию

$$f(x) = -3x^3 - 2x. \quad (14)$$

Полученный объект смоделирован в программной среде Matlab (рисунок 1).

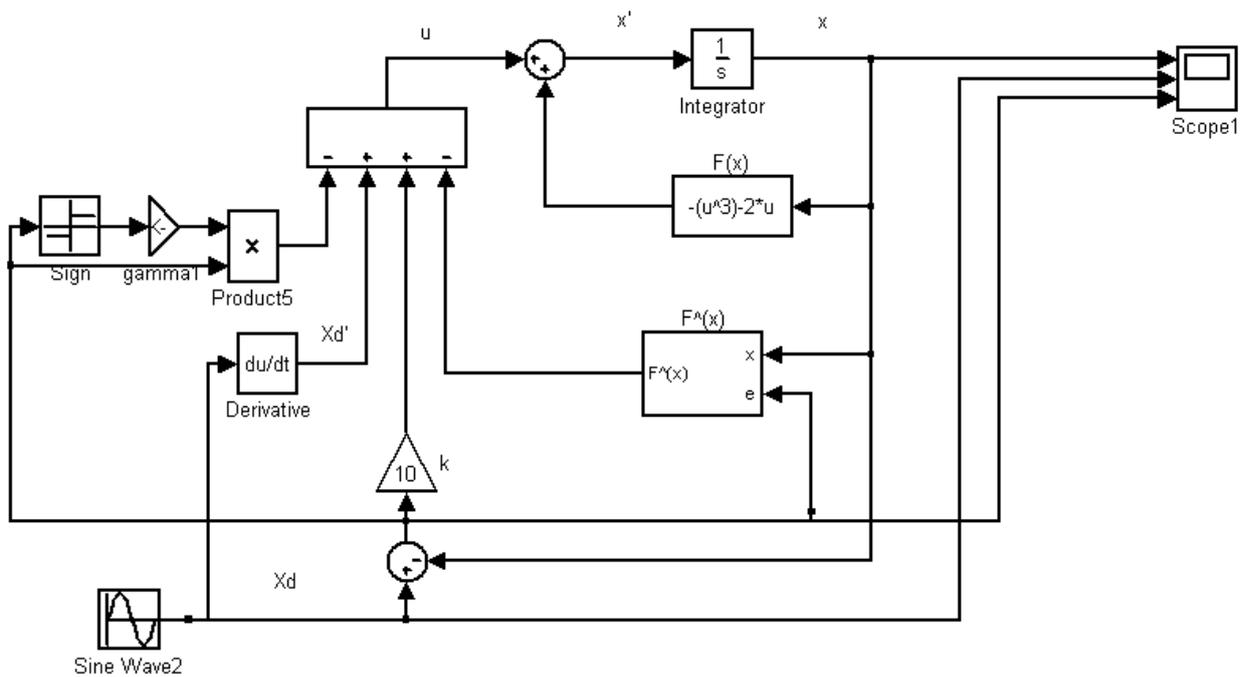
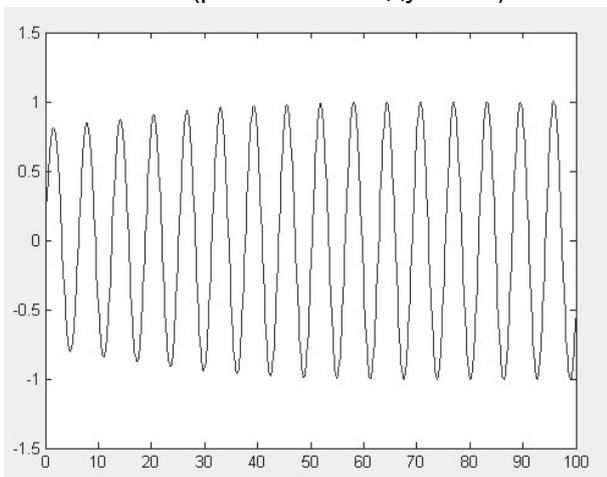
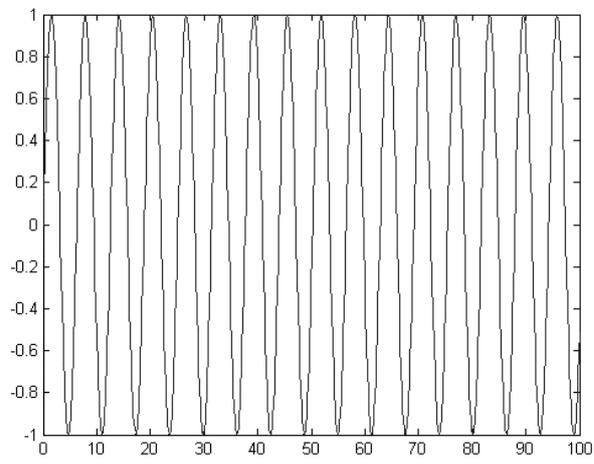


Рисунок 1 – Моделирование системы управления нелинейным объектом с параметрической неопределенностью

На рисунке 2 показан выход системы в сравнении с желаемым значением, а на рисунке 3 – ошибка (разность между ними).



а)



б)

Рисунок 2 – Выходные значения сигнала (а); заданные значения сигнала (б)

Результаты моделирования показывают, что полученный алгоритм управления обеспечивает стремление сигнала рассогласования к нулю и стремление траектории  $x(t)$  к заданной  $x_d(t)$ .

Таким образом, на примере простой системы показана работоспособность и перспективность подхода к построению адаптивного управления на основе разложения в ряды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Андриевский, Б.Р. Избранные главы теории автоматического управления / Б.Р. Андриевский, А.Л. Фрадков. -СПб.: Наука, 2000. -475 с.

2 Лукомский, Ю.А. Системы управления морскими подвижными объектами: учебник / Ю.А. Лукомский, В.С. Чугунов. -Л.: Судостроение, 1988. -272 с.

3 Мирошник, И.В. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами / И.В. Мирошник, В.О. Никифоров, А.Л. Фрадков. -СПб.: Наука, 2000. -549 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** адаптивное управление, устойчивость, переменные параметры, степенные ряды

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Дыда Александр Александрович, докт, техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

Чинчукова Елена Павловна, аспирант ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

Шевченко Маргарита Владимировна, 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»

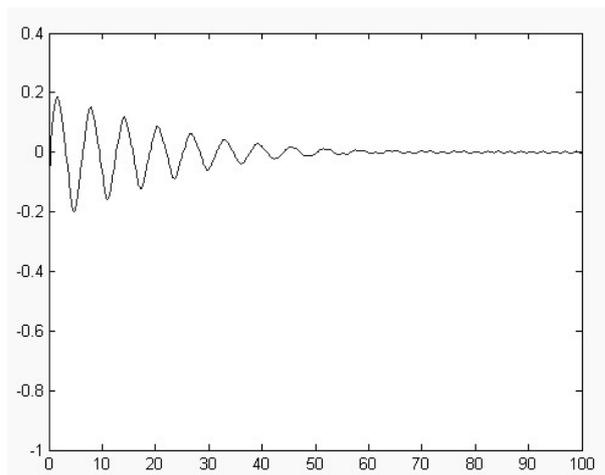


Рисунок 3 – Сигнальная ошибка

## УТОЧНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЛИПСА ПОГРЕШНОСТЕЙ КООРДИНАТ GPS-ПРИЁМНИКА

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

**Ю.А. Комаровский**

### REFINEMENT OF THE PARAMETES OF THE COORDINATE ERRORS ELLIPSE FOR A GPS RECEIVER

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

Yu.A. Komarovskiy

We obtained simple formulas for estimating the approximation error occurring as a result of replacing the semi-axes of the coordinate errors ellipse with their root-mean-square deviations for the latitude and longitude obtained with a vessel's GPS receiver. We showed that these approximation errors are dependent on the eccentricity and the angle of intersection of the major semi-axis with the meridian.

**Keywords:** GPS-receiver, errors ellipse, errors distribution, root-mean-square deviations

Получены простые формулы для оценки ошибок полуосей эллипса погрешностей от замены их средними квадратическими отклонениями широты и долготы, определяемыми судовым GPS-приёмником. Показано, что эти ошибки зависят от эксцентриситета эллипса и от угла пересечения его большей полуоси с меридианом.

В астронавигации параметры эллипса погрешностей (ЭП) обсервованного места судна рассчитываются по средним квадратическим погрешностям (СКП) навигационных параметров, по величинам градиентов линий положения и по углам пересечения линий положения. При эксплуатации судового GPS-приёмника также существует необходимость двумерной оценки точности обсервованного места. В таком случае по традиции прибегают к использованию эллипса в качестве фигуры рассеивания координат. Но здесь классические схемы расчёта размеров полуосей эллипса и ориентации его большей полуоси не годятся, так как GPS-приёмник предоставляет штурману только обсервованные координаты. Поэтому зачастую СКП обсервованной широты принимают за большую полуось ЭП, а СКП обсервованной

долготы – за малую полуось. При этом предполагают, что угол между северной частью меридиана и большей полуосью мал. В предлагаемой статье исследуются погрешности размеров полуосей ЭП, возникающих при таком допущении.

Пусть  $a$  и  $b$  – большая и малая полуоси ЭП. Они связаны между собой первым эксцентриситетом эллипса  $e$

$$e^2 = 1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2.$$

Зададим прямоугольную систему координат  $XOY$  (рисунок), у которой ось  $X$  совпадает с меридианом и направлена на север, а ось  $Y$  проходит по параллели и направлена на восток. При этом линейные масштабы по осям  $X$  и  $Y$  будем считать одинаковыми. Обозначим буквой  $K$  угол между меридианом и большей полуосью ЭП. Угол  $K$  отсчитывается от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  по ходу часовой стрелки.

СКП широты ( $\sigma_\varphi$ ) и СКП долготы ( $\sigma_\lambda$ ) имеют угловую меру, а полуоси  $a$  и  $b$  – линейную. В практике оценки точности обсервованных координат величины полуосей принято выражать в метрах. Следовательно, чтобы откладывать дуги, стягивающие углы СКП, по осям  $X$  и  $Y$ , необходимо иметь формулы перехода от системы координат  $NOE$  к системе  $XOY$ .

Дуга конечных размеров меридиана  $S_1$  между точкой  $O$  с широтой  $\varphi_1$  и экватором выразится интегралом

$$S_1 = \int_0^{\varphi_1} M d\varphi, \quad (1)$$

где  $M$  – радиус кривизны меридианного эллипса земного эллипсоида,

$$M = \frac{a_1(1-e_1^2)}{\sqrt{(1-e_1^2\sin^2\varphi)^3}}; \quad (2)$$

$a_1$  – большая полуось земного эллипсоида, м;

$e_1$  – первый эксцентриситет меридианного сечения земного эллипсоида.

Отсюда

$$S_1 = \int_0^{\varphi_1} M d\varphi = a_1(1-e_1^2) \int_0^{\varphi_1} \frac{d\varphi}{\sqrt{(1-e_1^2\sin^2\varphi)^3}} = a_1(1-e_1^2) \int_0^{\varphi_1} \frac{d\varphi}{W^3}, \quad (3)$$

где

$$W^3 = \frac{1}{\sqrt{(1-e_1^2\sin^2\varphi)^3}}.$$

Разложим  $W^3$  в ряд

$$\begin{aligned} \frac{1}{W^3} &= 1 + \frac{3}{2}e_1^2\sin^2\varphi + \frac{15}{8}e_1^4\sin^4\varphi + \frac{105}{48}e_1^6\sin^6\varphi + \dots = \\ &= \left(1 + \frac{3}{4}e_1^2 + \frac{45}{64}e_1^4 + \dots\right) - \left(1 + \frac{3}{4}e_1^2 + \frac{15}{16}e_1^4 + \dots\right)\cos 2\varphi + \left(\frac{15}{64}e_1^4 + \dots\right)\cos 4\varphi + \dots \end{aligned}$$

После подстановки полученного ряда в (3) и последующего интегрирования окончательно получим

$$S_1 = a_1(1-e_1^2) \left[ \left(1 + \frac{3}{4}e_1^2 + \frac{45}{64}e_1^4 + \dots\right)\varphi_1 - \left(\frac{3}{8}e_1^2 + \frac{15}{32}e_1^4 + \dots\right)\sin 2\varphi_1 + \left(\frac{15}{256}e_1^4 + \dots\right)\sin 4\varphi_1 - \dots \right]. \quad (4)$$

Понятно, что в формулу (4) широта  $\varphi_1$  входит в радианной мере.

Из рисунка следует:  $OA_1 = a \cos K$ . Следовательно, погрешность  $\Delta_\varphi$  будет равна разности  $\Delta_\varphi = OA_2 - OA_1$ .

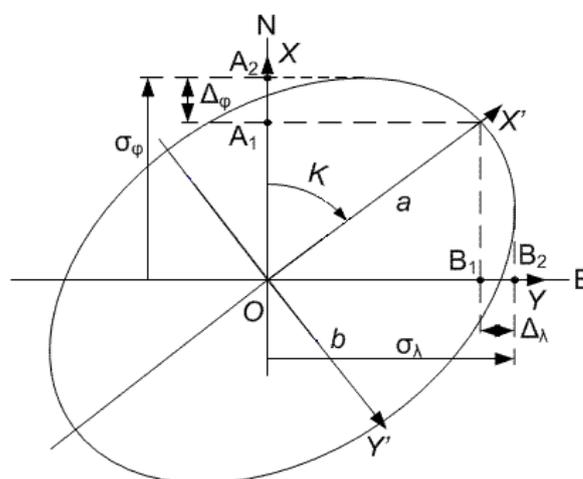


Рисунок – Уточнение параметров эллипса погрешностей

Отрезок  $OB_2$  представляет собой дугу параллели, стягивающую угол, равный СКП долготы ( $\sigma_\lambda$ ). Этот угол является разностью долгот точки  $B_2$  ( $\lambda_2$ ) и точки  $O$  ( $\lambda_1$ ). Линейный эквивалент разности долгот можно рассчитать, если точно известна длина одной минуты параллели в данной широте. В навигации и геодезии длину дуги одной минуты параллели в метрах принято рассчитывать по известной формуле [1]

$$l'_p = N \operatorname{Arc}(1') \cos \varphi = \frac{a_1 \operatorname{Arc}(1')}{\sqrt{1 - e_1^2 \sin^2 \varphi}} \cos \varphi, \quad (5)$$

где  $N$  – радиус кривизны земного эллипсоида в первом вертикале.

Разложим первый сомножитель второго выражения формулы (5) в степенной ряд по  $\sin \varphi$

$$\frac{a_1 \operatorname{Arc}(1')}{\sqrt{1 - e_1^2 \sin^2 \varphi}} = \operatorname{Arc}(1') a_1 + \frac{\operatorname{Arc}(1') e_1^2 a_1 \sin^2 \varphi}{2} + \frac{3 \operatorname{Arc}(1') e_1^4 a_1 \sin^4 \varphi}{8} + \frac{5 \operatorname{Arc}(1') e_1^6 a_1 \sin^6 \varphi}{16} + \dots \quad (6)$$

Введём следующие обозначения

$$A_1 = \operatorname{Arc}(1') a_1; \quad A_2 = \frac{1}{2} \operatorname{Arc}(1') a_1 e_1^2; \quad A_3 = \frac{3}{8} \operatorname{Arc}(1') a_1 e_1^4; \quad A_4 = \frac{5}{16} \operatorname{Arc}(1') a_1 e_1^6. \quad (7)$$

Величина коэффициента  $A_4$  не превышает 0,0001739 м. Поэтому из дальнейшего рассмотрения коэффициент  $A_4$  можно опустить в силу его малости.

С учётом введённых обозначений ряд (15) можно записать так

$$\frac{a \operatorname{Arc}(1')}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} = A_1 + A_2 \sin^2 \varphi + A_3 \sin^4 \varphi + \dots \quad (8)$$

Заменим синусы во второй и в четвёртой степени косинусами кратных углов. Согласно теореме сложения и формул кратных углов, чётные степени синусов можно представить в виде следующей конечной суммы [2]

$$\sin^N \varphi = \frac{(-1)^{N/2}}{2^{N-1}} \left[ \cos N\varphi - \binom{N}{1} \cos(N-2)\varphi + \binom{N}{2} \cos(N-4)\varphi - \dots + (-1)^{(N-2)/2} \binom{N}{(N-2)/2} \cos 2\varphi \right] + \binom{N}{N/2} \frac{1}{2^N},$$

где  $\binom{N}{1}; \binom{N}{2}; \binom{N}{(N-2)/2}$  – биномиальные коэффициенты, которые рассчитываются по формуле

$$\binom{N}{n} = \binom{N}{N-n} = \frac{N!}{(N-n)!n!}, \quad \text{для } N \geq n.$$

Если  $N < n$ , то биномиальный коэффициент равен 0.

Отсюда имеем

$$\sin^2 \varphi = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\varphi; \quad \sin^4 \varphi = \frac{3}{8} - \frac{1}{2} \cos 2\varphi + \frac{1}{8} \cos 4\varphi. \quad (9)$$

Подставим выражения (9) в формулу (8) и введём новые обозначения

$$C_1 = A_1 + \frac{A_2}{2} + \frac{3A_3}{8}; \quad C_2 = -\left[ \frac{A_2}{2} + \frac{A_3}{2} \right]; \quad C_3 = \frac{A_3}{8}. \quad (10)$$

В итоге с учётом выражений (9) и (10) рабочая формула для вычисления длины дуги одной минуты параллели в метрах примет следующий вид

$$l'_p = [C_1 - C_2 \cos 2\varphi + C_3 \cos 4\varphi] \cos \varphi. \quad (11)$$

Отсюда  $OB_2 = (\lambda_2 - \lambda_1) l'_p$  где разность долгот  $\lambda_2 - \lambda_1$  выражена в угловых минутах. Отрезок  $OB_1$  определится как  $OB_2 = a \sin K$ . Следовательно, линейная ошибка  $\Delta_\lambda$ , возникающая от замены малой полуоси  $b$  средней квадратической погрешностью долготы  $\sigma_\lambda$ , будет равна разности  $\Delta_\lambda = OB_2 - OB_1$ .

Получим выражения, определяющие зависимость величин  $\Delta_\varphi$  и  $\Delta_\lambda$  от угла  $K$  и параметров эллипса погрешностей. Для этого перейдём к новой системе координат  $X'OY'$  с помощью стандартных формул перехода

$$\begin{cases} x' = x \cos K + y \sin K; \\ y' = -x \sin K + y \cos K. \end{cases} \quad (12)$$

Каноническое уравнение эллипса в новой системе координат запишется следующим

образом:

$$\frac{(x')^2}{a^2} + \frac{(y')^2}{b^2} = 1. \quad (13)$$

Подставим (12) в (13). Тогда уравнение (13) примет следующий вид

$$\frac{x^2 \cos^2 K + 2xy \sin K \cos K + y^2 \sin^2 K}{a^2} + \frac{x^2 \sin^2 K + 2xy \sin K \cos K + y^2 \cos^2 K}{b^2} = 1$$

После преобразований получим

$$(a^2 \sin^2 K + b^2 \cos^2 K)x^2 - 2xy(a^2 - b^2)\sin K \cos K + (a^2 \cos^2 K + b^2 \sin^2 K)y^2 - a^2 b^2 = 0 \quad (14)$$

Выражение (14) представляет собой квадратный трёхчлен. Исследуем его относительно  $y$ . Четверть дискриминанта полученного квадратного трёхчлена запишется как

$$D/4 = a^2 b^2 (a^2 \cos^2 K + b^2 \sin^2 K - x^2).$$

Поскольку  $D/4$  не должен быть величиной отрицательной, то абсолютная величина  $x$ , то есть  $OA_2$

$$|x| \leq \sqrt{a^2 \cos^2 K + b^2 \sin^2 K}.$$

Если преобразовать подкоренное выражение, то получим, что  $x$  по модулю не должен превосходить

$$|x| \leq \sqrt{1 - e^2 \sin^2 K}.$$

Отсюда искомая  $\Delta_\phi$  определится как

$$\Delta_\phi = a \left( \sqrt{1 - e^2 \sin^2 K} - \cos K \right). \quad (15)$$

Если рассматривать выражение (14) как квадратный трёхчлен относительно  $x$ , то четверть дискриминанта запишется следующим образом

$$D/4 = a^2 b^2 (a^2 \sin^2 K + b^2 \cos^2 K - y^2).$$

Отсюда абсолютная величина  $y$ , то есть  $OB_2$

$$|y| \leq a \sqrt{1 - e^2 \cos^2 K}.$$

Линейная ошибка  $\Delta_\lambda$ , возникающая от замены малой полуоси  $b$  средней квадратической погрешностью долготы  $\sigma_\lambda$ , будет равна

$$\Delta_\lambda = a \left( \sqrt{1 - e^2 \cos^2 K} - \sin K \right). \quad (16)$$

Так как  $a = b/\sqrt{1 - e^2}$ , то формулу (16) можно записать иначе

$$\Delta_\lambda = b \frac{\sqrt{1 - e^2 \cos^2 K} - \sin K}{\sqrt{1 - e^2}}. \quad (17)$$

Анализ полученных формул (15) и (17) позволяет понять, как с увеличением угла  $K$  возрастают величины погрешностей  $\Delta_\phi$  и  $\Delta_\lambda$ . При прочих равных условиях величины погрешностей  $\Delta_\phi$  и  $\Delta_\lambda$  тем больше, чем больше эксцентриситет эллипса погрешностей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Каврайский, В.В. Избранные труды. Т. II. Математическая картография / В.В. Каврайский. -Изд. Упр. начальника Гидрограф. службы ВМФ. -Л., 1958. -319 с.
- 2 Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. -М.: Наука, 1978. -832 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** GPS-приёмник, эллипс погрешностей, распределение погрешностей, среднее квадратическое отклонение  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, ведущий 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»

## **ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОЙ МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ НАСЫЩЕННОСТИ УЧАСТКА ВОДНОГО ПУТИ НАВИГАЦИОННЫМИ ЗНАКАМИ**

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

**А.Н. Никулин**

**GAME-THEORETICAL METHOD OF OPTIMIZATION OF THE SATURATION NAVIGATIONAL SIGN AREA OF THE WATERWAY**  
«Volga state academy of water transport»  
A.N. Nikulin

Possibility of increase in distance between the floating navigating signs showing position of a ship course on gross national product is considered.

*Keywords: lower costs, floating navigating signs*

Рассмотрена возможность увеличения расстояния между плавучими навигационными знаками, показывающими положение судового хода на ВВП.

В связи с внедрением на ВВП электронных карт, меняются методы судовождения в сторону более широкого применения в процессе судовождения радионавигационных приборов. Вместе с тем в последние годы значительно снизилось государственное финансирование на содержание водных путей. В связи с этим целесообразно рассмотреть вопрос возможности сокращения плавучих навигационных знаков на отдельных участках, где это возможно. Этого можно добиться за счет увеличения расстояния между плавучими навигационными знаками.

Стоимость содержания ВВП включает в себя следующие затраты:

– поддержание габаритов водного пути;

– обозначение положения судового хода для обеспечения безопасного судоходства на ВВП.

Затраты на поддержание габаритов водного пути включают в себя расходы на выполнение промерных работ, дноуглубительных, тральных и водолазных.

Затраты на обозначение границ судового хода, для обеспечения безопасного судоходства на ВВП, включают в себя затраты на приобретение и обслуживание навигационного оборудования.

Как говорилось выше, в настоящее время бюджетное финансирование на содержание ВВП сокращается с каждым годом, которое в настоящее время составляет около 40% от требуемого количества денежных средств.

Для того, чтобы речной транспорт мог конкурировать с другими видами транспорта (железнодорожный и автомобильный), и обеспечивать достаточную безопасность судоходства, необходимо адаптировать затраты на содержание ВВП под нынешнюю финансовую ситуацию в стране.

Частично снизить затраты на содержание ВВП можно за счет сокращения составляющей затрат на обозначение положения судового хода. Это можно достичь за счет оптимизации числа плавучих навигационных знаков на отдельных участках, тем самым снизить затраты на приобретение новых знаков и на содержание их в течение навигации.

Так как безопасность плавания находится в прямой зависимости от технического состояния водных путей в том числе и качества навигационного оборудования, то обоснование возможности увеличения расстояния между навигационными знаками по нашему мнению можно производить методом связи затрат на навигационное оборудование и затрат на транспортные происшествия на конкретно рассматриваемом участке водного пути.

Поэтому решение такой задачи, по нашему мнению можно увязать с прогнозом возможного изменения числа транспортных происшествий в связи с уменьшением насыщенности водных путей навигационными знаками.

Поскольку изменение числа транспортных происшествий на конкретном участке носит вероятностный характер, то решение задачи оптимизации числа навигационных знаков можно осуществить при помощи теоретико-игрового подхода принятия решений [1].

Сущность этого метода заключается в отыскании оптимального решения в условии неопределенного характера ситуации.

Для этого разрабатывается расчетная матрица  $\mathcal{E}_{ij}(\mathcal{E}_{\phi i}, \mathcal{E}_{ноj})$  (таблица).

Таблица – Расчетная матрица

Удельное число транспортных происшествий, $\overline{N_{mn i}}$ и их вероятность $P_i$	Коэффициент насыщенности участка ВВП навигационными знаками, $K_{nj}$						$\mathcal{E}_i^*$	$\mathcal{E}_i^* - \mathcal{E}_{j0i}^*$	
	$K_{n1}$	$K_{n2}$	...	$K_{nj}$	...	$K_{nn}$	$\mathcal{E}_1^*$	$\mathcal{E}_1^* - \mathcal{E}_{j01}^*$	
$\overline{N_{mn1}}$	$P_1$	$\mathcal{E}_{11}$	$\mathcal{E}_{12}$	...	$\mathcal{E}_{1j}$	...	$\mathcal{E}_{1n}$	$\mathcal{E}_2^*$	$\mathcal{E}_2^* - \mathcal{E}_{j02}^*$
$\overline{N_{mn2}}$	$P_2$	$\mathcal{E}_{21}$	$\mathcal{E}_{22}$	...	$\mathcal{E}_{2j}$	...	$\mathcal{E}_{2n}$	$\mathcal{E}_3^*$	$\mathcal{E}_3^* - \mathcal{E}_{j03}^*$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$\overline{N_{mni}}$	$P_i$	$\mathcal{E}_{i1}$	$\mathcal{E}_{i2}$	...	$\mathcal{E}_{ij}$	...	$\mathcal{E}_{in}$	$\mathcal{E}_i^*$	$\mathcal{E}_i^* - \mathcal{E}_{j0i}^*$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$\overline{N_{mnm}}$	$P_m$	$\mathcal{E}_{m1}$	$\mathcal{E}_{m2}$	...	$\mathcal{E}_{mj}$	...	$\mathcal{E}_{mn}$	$\mathcal{E}_m^*$	$\mathcal{E}_m^* - \mathcal{E}_{j0m}^*$
Математическое ожидание $M_j$	$M_1$	$M_2$	...	$M_j$	...	$M_n$			$\overline{\Delta}$

Данная матрица включает в себя суммарные затраты ( $\mathcal{E}_{ij}$ ) по навигационному оборудованию и транспортным происшествиям при определенной насыщенности участка пути навигационными знаками ( $K_{nj}$ ) и удельным числом транспортных происшествий ( $\overline{N_{mn i}}$ ).

В качестве минимизируемой величины, при решении этой задачи могут быть приняты суммарные затраты по навигационному оборудованию на участке ВВП и затраты на транспортные происшествия. Однако при уменьшении количества знаков, а значит насыщенности участка ВВП навигационными знаками, может сказаться на увеличении затрат при простоях флота при транспортных происшествиях.

Но как показывают исследования транспортных происшествий на ВВП, ярко выраженной зависимости между количеством транспортных происшествий и насыщенностью ВВП навигационными знаками нет. Тогда уравнение оптимальных затрат по флоту и навигационному оборудованию, за период навигации будет иметь вид

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\phi} + \mathcal{E}_{но}, \text{ руб.} \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_{\phi}$  – затраты на простои флота за период навигации, руб.;

$\mathcal{E}_{но}$  – затраты на содержание навигационного оборудования на участке пути в навигацию, руб.

Затраты на простои флота за период навигации будут определены следующим образом

$$\mathcal{E}_{\phi} = \overline{\mathcal{E}} \cdot t_{mn} \cdot \overline{N_{mn}} \cdot N, \text{ руб.} \quad (2)$$

где  $\overline{\mathcal{E}}$  – затраты на содержание судна, руб./ч;

$t_{mn}$  – среднее время простоя судна при транспортном происшествии, ч;

$\overline{N_{mn}}$  – удельное число транспортных происшествий;

$N$  – навигационный судопоток на участке.

Для того, чтобы найти удельное число транспортных происшествий (ТП)  $\overline{N_{mn}}$  нам необходимо знать навигационный судопоток на участке ВВП и количество транспортных происшествий за навигацию

$$\overline{N_{mn}} = N \cdot N_{mn}, \quad (3)$$

где  $N_{mn}$  – число транспортных происшествий за навигацию.

Затраты на содержание навигационного оборудования на участке пути за определенный период времени будут складываться из следующих составляющих

$$\mathcal{E}_{но} = (\mathcal{E}_{но.p} + \mathcal{E}_{сод}) n_{зн}, \text{ руб.} \quad (4)$$

где  $\mathcal{E}_{но.p}$  – распределенные затраты за навигацию на приобретение навигационных знаков, руб.;

$\mathcal{E}_{сод}$  – стоимость содержания одного навигационного знака за навигацию, руб.;

$n_{зн}$  – число знаков на участке ВВП,

$$n_{зн} = L_{уч} \cdot K_n;$$

$L_{уч}$  – длина рассматриваемого участка ВВП, км.

Для того, чтоб сократить затраты на содержание навигационного оборудования на участке пути, необходимо добиться увеличения дальности видимости знака как в дневное так и в ночное время суток.

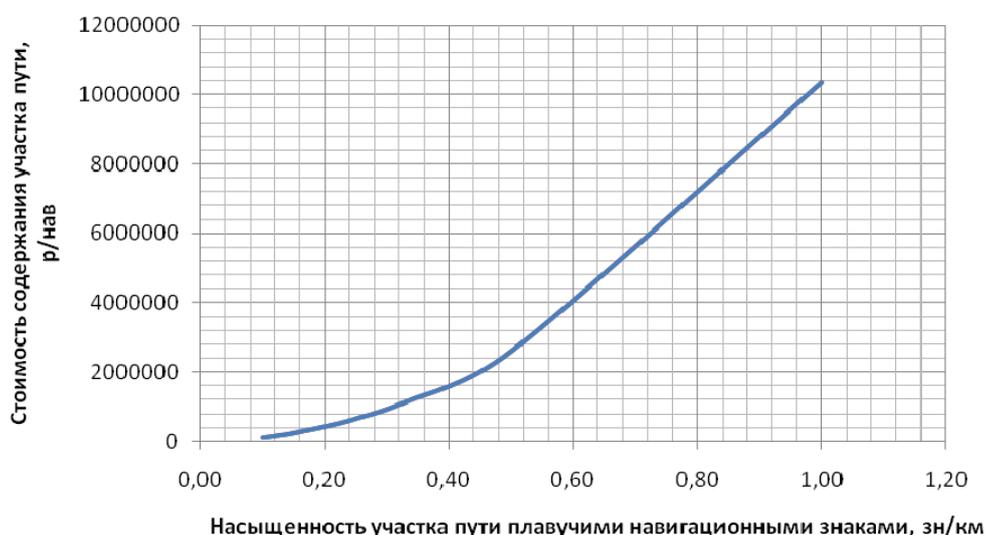
Рассмотрим увеличение ночной дальности видимости навигационного знака.

Увеличения ночной дальности видимости навигационного знака можно достичь за счет увеличения дальности действия светосигнального оборудования, а именно применением более мощных источников света. При этом стоимость светосигнального оборудования будет увеличиваться, а соответственно будет увеличиваться и стоимость самого навигационного знака. Стоимость навигационного оборудования на участке пути за навигацию с учетом изменения стоимости навигационного оборудования и стоимости его содержания при увеличении дальности действия будет следующей

$$\mathcal{E}'_{но} = (\mathcal{E}_{но,р} + \mathcal{E}_{сод} + \Delta\mathcal{E}_{зн})n_{зн}, \quad (6)$$

где  $\Delta\mathcal{E}_{но,р}$  – изменение стоимости содержания одного знака за навигацию, руб.

На рисунке показан характер зависимость стоимость содержания участка пути от насыщенности его навигационными знаками



*Рисунок – Зависимость стоимости содержания участка пути за навигацию от насыщенности навигационными знаками*

Математическое ожидание целевой функции для каждого  $K_{нj}$  равно

$$M_j = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_{ij} \overline{N_{mni}}. \quad (7)$$

Оптимальное решение  $K_{но}$  будем искать из условия

$$\min M_j = M_{jo}.$$

Если известно заранее, какая ситуация с транспортными происшествиями будет на данном участке, то оптимальным решением будет минимальное значение целевой функции  $\mathcal{E}_i^* = \min \mathcal{E}_{ij}$  и соответствующий ей  $K_{нj}$ . Однако, не зная конкретной ситуации, приходится принимать решение, минимизирующее среднее значение целевой функции. При этом средняя величина увеличения затрат

$$\overline{\Delta} = \sum_{i=1}^n (\mathcal{E}_i^* - \mathcal{E}_{joi}) \overline{N_{mni}} \quad \text{или} \quad \mu = \frac{\overline{\Delta}}{M_{jo}} 100\%. \quad (8)$$

Выражение (8) характеризует объективно возможную погрешность решения задачи, обусловленную вероятностным характером исходной информации.

Наряду с этим рассмотрим вероятность того, что принимаемый  $K_{нjo}$  будет не наилучшим. Очевидно, что эта вероятность равна

$$P = \sum_{j^*} P_j, \quad (9)$$

$J^*$  – множество индексов  $i$ , для которых  $\mathcal{E}_i^* - \mathcal{E}_{joi} > 0$ .

Показатели (8) и (9), характеризующие величину риска, могут быть также использованы для оценки допустимых погрешностей от упрощения оптимизационных моделей в условиях вероятностного прогноза исходных данных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Льюс, Р.Д. Игры и решения / Р.Д. Льюс, Х. Райфа. -М.: Иностран. лит., 1961.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *снижение затрат, плавучие навигационные знаки*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Никулин Артем Назарович, аспирант ФГОУ ВПО «ВГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «ВГАВТ»*

## **АРКТИЧЕСКОЕ СУДОХОДСТВО В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ**

Кыргызский национальный университет им. Ж. Баласагына

**Р.У. Амираев**

**ARCTIC NAVIGATION IN THE CONTEXT OF THE GLOBAL WARMING: PERSPECTIVES AND PROBLEMS**  
«Kyrgyz national university named J. Balasagyn»  
R.U. Amiran

The article is devoted to perspectives of the Arctic navigation in the context of the global warming. The problems of the marine security are also reviewed.

*Keywords: global warming, Arctic Ocean, icebreakers, Arctic coastal states, Arctic navigation, marine security*

Показаны перспективы арктического судоходства в условиях глобального потепления. Рассмотрены также проблемы морской безопасности в Арктике.

Арктический регион, по мнению многих международных аналитиков, служит своего рода «лакмусовой бумажкой» глобальных климатических изменений. За исключением некоторых деталей, в целом картина потепления в Арктике и его последствий ясна. Научный анализ климатической ситуации в ближайшем будущем в Арктике представлен отчетами международных проектов, осуществленных, в том числе, в рамках Арктического Совета – международной организации циркумполярных государств (Российская Федерация, США, Канада, Норвегия, Дания/Гренландия) [1]. Изменяется экология региона, биоразнообразие, сокращается площадь ледового покрытия Северного Ледовитого океана и прочее. Вместе с тем, открывается шанс пополнить «мировую кладовую» углеводородов. Их запасы впечатляют: в Арктике сосредоточено более 50% неразведанных месторождений нефти, которые, по имеющимся оценкам, находятся в арктической части Аляски, в северной части моря Бофорта, в оффшорной зоне западной и восточной части Гренландии. Более 70% неразведанных запасов газа находятся в трех районах: в Западно-сибирском бассейне (полуостров Ямал и оффшорная зона Карского моря), в восточной части Баренцева моря (Штокманское месторождение) и в арктической части Аляски. По оценкам специалистов, запасов Арктики хватит на несколько десятилетий эксплуатации. Не случайно важнейшие игроки региона (Россия, США, Канада, Норвегия и Дания/Гренландия) приняли национальные стратегии своей деятельности в Арктике, приоритетами которой являются защита суверенных прав, устойчивое развитие арктических территорий, защита окружающей среды, традиционного образа жизни малочисленных коренных народов Севера [2]. По мнению российского геофизика Л.И. Лобковского, Арктика – это практически последний нефтегазовый ресурс человечества. И это первое, что привлекает внимание всех глобальных игроков к этому региону. Причем игроков не только из приарктических стран; туда направляют свои взгляды и Европа, и Германия, и Китай, и даже Индия [3].

Но здесь встает серьезная проблема, без решения которой невозможна разработка углеводородного сырья Арктики: развитие мировых морских коммуникаций, в том числе трансарктических. Нефть будет доставляться морским путем в страны Европы, Азии, США и др. Поэтому успех освоения Арктики самым тесным образом связан с возможностью мореплавания судов различного класса, в том числе танкеров, научно-исследовательских, грузовых

и т.д. Уже сегодня в циркумполярных государствах ведутся интенсивные исследования проблемы, предоставляются обоснованные рекомендации по самым различным вопросам судоходства в арктическом регионе. В нашей статье мы рассмотрим наиболее важные выводы, к которым пришли ученые.

Группа европейских исследователей, диагностировавшая правовые аспекты арктического судоходства, отметила, что в результате таяния льдов Северного Ледовитого океана центральный арктический океанический путь может стать либо важнейшей морской трассой, либо будет использоваться вместе с Северо-Западным проходом и российским Северным морским путем [4, С. 5]. Появляется возможность интенсивного арктического судоходства различного предназначения, включая:

- морские суда специального назначения (крупные круизные суда, отплывающие из южных портов на западное побережье Гренландии в летнее время; нефтеналивные танкеры, перевозящие углеводороды из портов северной Норвегии и северо-западной части России на мировые рынки; ледоколы европейских стран, плавающие в летнее время в центральную часть Северного Ледовитого океана в исследовательских целях);

- внутриарктическое мореплавание, например, между канадским портом Черчилл и Мурманском;

- трансарктическое судоходство, то есть через Северный Ледовитый океан от Тихого океана в Атлантический или в обратном направлении;

- каботаж, то есть морские перевозки в прибрежных водах между портами России, например, между Дудинкой на реке Енисей и Мурманском [5, С. 16].

В целях разработки и эксплуатации новых углеводородных месторождений в каждом регионе Арктики потребуются проведение крупных морских операций // Несмотря на недавний глобальный финансово-экономический кризис, Норвегия и Российская Федерация уже сделали крупные инвестиции в разработку углеводородов Арктики соответственно в оффшорной зоне арктической Норвегии и в Печорском море // . Разумеется, уже действующие в Арктике предприятия, например, крупнейшая в мире шахта по добыче цинка (Red Dog в арктической зоне Аляски) и крупнейшая шахта по добыче никеля (в Норильске), по-прежнему будут зависеть от морских транспортных систем, действующих в сезонном режиме (на Аляске) или круглый год (Норильск) [5, С. 102].

Международные научные исследования потенциала морских коммуникаций и морских операций в Арктическом бассейне выявили множество проблем. В 2009 г. рабочая группа Арктического Совета по защите морской среды Арктики представила по этому поводу многостраничный отчет, где содержится подробный анализ всех аспектов арктического судоходства: географии морской части Арктики, климатических изменений, состояния морских льдов, управления судоходством, морской инфраструктуры, человеческого измерения и прочее [6, С. 103]. Достоинством данного исследования является заметно выраженный прикладной характер, в том числе по отдельным регионам Арктики на ближайшую перспективу (2020 г.). В канадской части Арктики возможности судоходства, например, суммируются следующим образом: движение сухогрузов и танкеров будет стимулироваться разработкой ресурсов, необходимостью обеспечения населения и поставок оборудования для реализации энергетических проектов; относительно круизных судов прогнозируется умеренный, но в значительной степени непредсказуемый рост; относительно передвижения контейнеровозов и транзитного судоходства не предвидится значительной активности [6, С. 111]. Сделан подробный анализ и по другим регионам Арктики.

Еще дальше в будущее заглянули группы международных экспертов, представивших сценарий вероятного судоходства в Арктике до 2050 г. По их мнению, основными факторами неопределенности, которые повлияют на его будущее, станут, в частности, стабильность правового режима региона; радикальные изменения динамики глобальной торговли; темпы климатических изменений; безопасность других морских маршрутов (например, Суэцкого и Панамского каналов); мировые цены на нефть; крупные морские аварии в Арктике; глобальное соглашение по правилам и стандартам конструкции судов; участие Китая, Японии и Кореи в арктическом судоходстве в качестве морских государств; эскалация разногласий по поводу морских пространств; переход к ядерной энергетике и прочее [6, С. 92].

Тщательно проанализированы экологические аспекты судоходства в арктических водах, в том числе выбросы с морского транспорта различных загрязнителей в Северный Ледовитый океан: нефтяных отходов, балластных, трюмных и сточных вод, кухонных отбросов и прочее. В фокусе исследования – потенциальное влияние международного судоходства на климат и загрязнение воздуха. Доказано, что морские суда оказывают значительное влияние

## СУДОВОЖДЕНИЕ

на глобальные климатические изменения и здоровье людей через эмиссию двуокиси углерода, метана, аэрозолей, окиси азота, окиси серы и т.д. Основываясь на данных, предоставленных государствами-членами Арктического Совета, оценивались объемы эмиссии с морских судов в Арктике. Причем эмиссия рассчитывалась для каждого класса судов по данным, доступным в 2004 г. В тот год морские суда различного назначения прошли в Арктике около 14,2 млн. км (приблизительно 7,7 млн. морских миль). Общий объем эмиссии составил примерно 1% от общемировой эмиссии двуокиси углерода морским транспортом. Несмотря на небольшой процент выбросов в арктическом регионе, ученые, тем не менее, констатировали серьезный ущерб экологии Арктики, учитывая ее уязвимый характер [6, С. 146].

Наглядное представление об источниках загрязнения в арктических водах, связанного с деятельностью различных морских судов, дает следующая таблица [6, С. 142].

Сравнительный анализ свидетельствует о том, что морские суда любого типа несут реальную опасность загрязнения окружающей среды Арктики. Эта опасность возрастает по мере усиления морской активности в регионе, что вызвано необходимостью разработки углеводородных и других месторождений и новыми возможностями арктического судоходства.

*Таблица – Источники загрязнения в арктических водах*

Класс судна	Подкласс судна	Специфические источники загрязнения, связанные с определенным типом судна
Государственные суда и ледоколы	корабли береговой охраны; исследовательские, частные и государственные ледоколы; другие исследовательские суда	аварии/случаи загрязнения; чрезвычайный сброс нефти/топлива; радиоактивное загрязнение атомными ледоколами; влияние ледокольной деятельности (препятствование формированию льдов и т.д.)
Контейнеровозы	грузовой транспорт	транзит опасных грузов; опасность столкновения кораблей конвоя; грунтовые опасности (в не отмеченных на картах водах); отсутствие опыта судоходства в морских льдах
Грузовые суда общего назначения	суда, обеспечивающие местные сообщества необходимыми товарами; разгрузка и погрузка товаров	транзит опасных грузов; случайный сброс груза; загрязненный груз
Грузовые суда	лесовозы; торговые суда; перевозчики автомобилей; рудовозы	радиационное загрязнение от грузов; транзит опасных грузов; сброс металлических загрязнителей и т.д.
Танкеры	нефтеналивные суда; газовозы; танкеры, перевозящие химические вещества	Загрязнение жидким азотом; транзит химических и опасных веществ; вытекание нефти при ее перевозке
Пассажирские суда	круизные суда; океанские лайнеры; паромы.	крупные сбросы загрязненной воды; кухонные отбросы; нарушение дикой жизни из-за человеческой деятельности
Буксиры/баржи	грузовые суда	опасные инциденты; транзит опасных грузов; разлив нефти при ее перевозке; сильные выбросы загрязнителей атмосферы
Рыболовецкие суда	малые рыболовецкие суда и лодки; суда для добычи китов	высокий риск возгорания; попадание патогенов и других загрязнителей в результате сбросов рыбных отходов; сбросы пластика; ущерб от придонного траления и т.д.
Суда для разведки/эксплуатации нефти и газа;	суда для сейсмической разведки; гидрографические суда; суда для бурения нефтяных скважин; суда с портативной нефтяной платформой и т.д.	опасные грузы; взрывы; акустическое воздействие от сейсмической деятельности; нефтяное загрязнение; загрязнение от химических веществ; опасность возгорания

Для развития арктического судоходства трудно переоценить роль факторов его безопасности. Значительная часть основных морских коммуникаций в Арктике не имеет адекватных гидрографических данных, и, следовательно, морских карт, что обеспечило бы безопас-

ность арктического судоходства. Это особенно относится к Канадскому архипелагу, морю Бофорта и, возможно, к другим районам Арктики. Остро ощущается потребность расширения морских путей в качестве альтернативных маршрутов на случай трудной ледовой обстановки, необходимости укрытия судов в чрезвычайных условиях и поддержки доступа к природным ресурсам. Существуют и другие проблемы обеспечения безопасности арктического судоходства. В частности, нехватка экипажей с богатым опытом плавания в арктических водах, хотя потребность в них постоянно возрастает. Есть серьезные ограничения на радио- и спутниковую связь для передачи необходимых сообщений ввиду отсутствия полного спутникового покрытия Арктики; крайне скудная сеть метеорологических и океанографических наблюдений, что имеет большое значение для прогнозирования погоды и прочее [5, С. 190]. Препятствием арктическому судоходству могут быть также расхождения стандартов, принятых в различных странах, ограничивающих судоводителей от плавания судов ледового класса между регионами [7, С. 30]. Важнейшее условие интенсивного судоходства в Арктике – наличие судов специальной постройки, эксплуатация которых будет безопасной и экономически выгодной. Сегодня судов такого класса немного. В научном исследовании рабочей группы Министерства иностранных дел Исландии подчеркиваются существенные различия между торговыми судами ледового класса и ледоколами, охарактеризованы плюсы и минусы их судоходных качеств. Первые могут выдерживать высокую степень абразивных контактов со льдами, но нуждаются в ледокольной поддержке при плавании через сильные ледовые поля. Ледоколы преодолевают такие льды, но имеют ряд нежелательных характеристик при плавании в чистой воде: низкую скорость движения и высокий расход топлива. Финская судостроительная компания «Aker Arctic» разработала новый тип судна, сочетающего в себе характеристики грузовых судов ледокольного типа и ледоколов. В Арктике уже эксплуатируется несколько судов нового класса. В частности, российская компания «Норильский Никель» имеет контейнеровоз грузоподъемностью 14500 т [6].

Заслуживают внимания вероятностные статистические выкладки по объемам арктического судоходства, приведенные на состоявшейся в 2007 г. в Исландии международной конференции по вопросам арктического мореплавания. В 2015 г. ожидаемые перевозки нефти из Мурманской области в США через исландские воды составят примерно 50 млн. т, которые будут доставляться танкерами дедевитом в 100, 160 и 280 тыс. т. Ожидается, что в течение 2015 г. в Арктике состоится 500 проходов полностью груженными танкерами [8]. Имеются соответствующие расчеты по Северному морскому пути Россия). Ожидается, что к 2020 г. ежегодные перевозки углеводородов составят примерно 40 млн. т нефти и газа, что может содействовать повышению экономической эффективности грузовых перевозок по СМП. К тому же новые арктические морские технологии помогут решить ряд проблем, касающихся экономической стороны перевозок. Стоимость морских перевозок будет ниже по сравнению с транспортировкой нефти и газа по трубопроводам [5, С. 123].

Важность разработки и эксплуатации арктических месторождений углеводородного сырья, развития арктического судоходства возрастают с каждым днем. Это является производной от постоянного роста потребления энергоресурсов. Экспоненциальный рост потребления в свою очередь обусловлен неизменными законами развития социума. На всем протяжении человеческой истории люди постоянно искали и использовали новые источники энергии. Причем объемы потребляемой энергии постоянно возрастали. Эта тенденция действует и в настоящее время. Одна из причин растущего потребления энергоресурсов – бурное развитие мировой экономики, современных средств морского, наземного и воздушного транспорта. Гигантами потребления энергоресурсов становятся те страны, которые еще недавно числились в аутсайдерах мировой экономики: Китай. Индия Бразилия и некоторые другие. Согласно прогнозу ИМЭМО РАН, в 2020 г. удельный вес Азии в мировом ВВП достигнет 43%, причем доля Китая по реальной покупательной способности в мировом ВВП поднимется до 23%, Индии – до 8,4%, тогда как удельный вес США снизится до 18%, а Германии – до 2,9% [9, С. 67].

В 2008 г. потребление первичных энергоносителей странами, не входящими в ОЭСР, впервые превысило соответствующий показатель стран ОЭСР и достигло 51,2% мирового коммерческого потребления энергоресурсов. Предпосылки к этому формировались уже давно: начиная с 2000 г. вклад указанных стран в увеличение потребления энергоносителей превышал долю стран-членов ОЭСР. В 2008 г. страны, не входящие в ОЭСР впервые потребили больше природного газа, чем участники этой организации. Кроме того, по объему производства электроэнергии Китай обогнал Евросоюз [10, С. 95]. В 2020 г., по прогнозу

лауреата Нобелевской премии Р. Манделла, свыше половины спроса на энергоресурсы на планете придется на Северо-Восточную Азию, а в Международном энергетическом агентстве полагают, что Китай и Индия внесут 45% в рост мирового потребления первичной энергии до 2030 г. Представляется обоснованным тезис А.И. Уткина о том, что основная угроза в настоящее время исходит не от слаборазвитых стран, но от среднего класса в связи с ростом потребления [11]. Действительно, потребление в ряде развивающихся странах растет беспрецедентными темпами. Быстро увеличивается парк автомобилей в Индии и Китае, увеличивается потребление продуктов питания в результате роста доходов больших групп населения, что возможно только при расширенном производстве энергии. Такая ситуация волей-неволей вынуждает правительства многих стран мира искать новые источники обеспечения своей энергетической безопасности, диверсифицировать их любым возможным способом. Одним из таких источников являются огромные углеводородные месторождения арктического региона.

Лучшим подтверждением наступающей «арктической эры» в ресурсном обеспечении мировой экономики являются разгоревшиеся в последние годы политические страсти и споры по поводу правового статуса тех или иных морских пространств Арктики, особенно внешних границ континентального шельфа. В арктических странах расширяется спектр научных исследований в области климатологии, геологии, океанологии, гидрографии, права, современных технологий в морском транспорте, защиты окружающей среды. Эти исследования направлены на максимальное использование природного богатства Арктики, успешное освоение которых зависит в огромной степени от возможностей трансарктического судоходства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Romanovskii N., Hubberten H. Results of Permafrost modeling of the lowlands and shelf of the Laptev Sea Region, Russia. *Permafrost and Periglacial Progress*. 12:191-2001; International Panel on Climate Change (IPCC) 2001: Synthesis Report. IPCC Plenary XVIII (Wembley, UK) 24-29.9. 2001; Tromso Declaration on the occasion of the Sixth Ministerial Meeting of the Arctic Council. The 29 of April, 2009, Tromso, Norway; State of the Arctic Coast 2010. Report. Scientific Review and Outlook. 2010; Arctic Biodiversity Assessment — Arctic Biodiversity Trends 2010: Selected Indicators of Change. Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF). Working Group under the Arctic Council

2 Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу // Рос. газета. -2009. -30 марта; Presidential Directive to Establish U.S. Policy in Arctic Region. United States seek stop protect Arctic environment. The White House. Office of the Press Secretary. January 12, 2009; Statement on Canada's Arctic Foreign Policy. Exercising Sovereignty and Promoting Canada's Northern Strategy Abroad. Government of Canada. 2010; The Norwegian Government's Strategy for the High North, 2006; Namminersornerullutik Oqartussat. Udenrigsministeriet Arktis i en brydningstid. Forslag til strategi for aktiviteter i det arktiske område. (Arctic at a Time of Transition: Proposed Strategy for Activities in the Arctic Region). May 2008.

3 Многополярный мир становится во многом приполярным миром. Ч.1 // Независимая газета. -2009. -24 июня.

4 Legal Aspects of Arctic Shipping. Summary Report. Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries European Commission. Luxemburg: Publication Office of the EU. 23 February 2010. P. 5.

5 Arctic Council. Arctic Marine Shipping. Assessment 2009. Report. AMSA Executive Summary with Recommendations.

6 Ibidem.

7 North meets North. Navigation and the Future of the Arctic. Report of a working group of the Ministry for Foreign Affairs of the Iceland. 1 February. 2006. P. 30.

8 Breaking the Ice. Arctic Development and Marine Transportation. Prospects of the Transarctic Route — Impact and Opportunities. Akureyi, March 27-28, 2007. Organized by the Icelandic Government. Contribution to the Arctic Council Marine Shipping Assessment.

9 Ивашенцов, Г.А. Азиатский вектор российской энергетики / Г.А. Ивашенцов // *Международ. жизнь*. -2010. -№3. -С. 67.

10 ВР: статистический обзор мировой энергетики, июнь 2009 г. // *Вопр. экономики*. -2009.

-№9. -С. 95.

11 Уткин, А.И. Энергетические ресурсы и геополитика / А.И. Уткин // Полис. Полит. ис-след. -2010. -№3. -С. 9-25.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *глобальное потепление, Северный Ледовитый океан, ледоколы, арктические государства, арктическое судоходство, морская безопасность*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Рахмат Убайдуллаевич Амираев, канд. полит. наук, доцент Кыргызский НУ им. Ж. Баласагына*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *720033, Кыргызстан, г. Бишкек, ул. Фрунзе, 547, Кыргызский НУ им. Ж. Баласагына*

# ИНФОРМАТИВНОСТЬ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СПЕКТРОГРАММЫ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВАЛОПРОВОДА СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.В. Викулов

## INFORMATIVE DIAGNOSTIC PARAMETERS OF THE SPECTROGRAM SHAFTING TORSIONAL VIBRATION OF SHIP POWER PLANTS

«Novosibirsk state academy of water transport»  
S.V. Vikulov

The results of the study the diagnostic value of the parameters of the spectrogram shafting torsional vibration of ship power plants for the control of the damper.

*Keywords: diagnostic parameter, silicone damper, torsional oscillations, shafting, spectrogram, technical condition*

Представлены результаты исследования диагностической ценности параметров спектрограммы крутильных колебаний валопровода судовых энергетических установок для контроля состояния демпфера.

Как известно, совершенство того или иного диагностического параметра, положенного в основу метода диагностирования, определяется следующими условиями [1]:

- однозначностью, которая заключается в том, что каждому значению диагностического параметра должно соответствовать вполне определённое значение структурного параметра или выходного процесса (состояния диагностируемого объекта);
- широтой поля изменения: диагностический параметр должен иметь возможно большое относительное изменение при абсолютном изменении структурного параметра;
- технологичностью измерения параметра, определяемой удобством подключения диагностической аппаратуры, простотой измерения и обработки результатов измерений;
- достаточной информативностью о состоянии контролируемого объекта.

Первым трём условиям, как показано в работах [2, 3], метод диагностирования и прогнозирования технического состояния валовой группы элементов СЭУ по параметрам крутильных колебаний вполне удовлетворяет. Сведений об исследованиях информативности параметров крутильных колебаний на настоящий момент времени в литературе не обнаружено. В данной работе предпринята попытка восполнить этот пробел.

Цель работы – исследовать диагностическую ценность параметров крутильных колебаний, рассмотренных в работе [3], для контроля технического состояния силиконового демпфера валопровода СЭУ. Ниже изложены результаты проведённых исследований.

Объектами исследований являлись валопроводы эксплуатируемых дизелей 6NVD26-A3 теплоходов типа «РТ-600» проекта 1741 Омского и Новосибирского речных портов. Методика измерений и обработки параметров крутильных колебаний при помощи комплекса БАГС-4 описаны в работах [2-4]. Были обследованы валопроводы  $n(D) = 26$  дизелей, из которых  $n(D_1) = 17$  составили дизели с исправным состоянием демпферов и  $n(D_2) = 9$  – с дефектным состоянием [3].

Основываясь на результатах практического использования разработанной нами методики оценки диагностической ценности параметров работающего масла [5], условимся считать частной диагностической ценностью обследования по  $i$ -му интервалу амплитуд крутильных колебаний  $A$ , находящихся в  $j$ -ом интервале частот  $\nu$  крутильных колебаний спектрограммы, величину информации, вносимую всеми реализациями в установление соответственно состояний  $D_1$  и  $D_2$ . Тогда частную диагностическую ценность можем определить по формулам:

$$Z_{D_1}(A_j) = \sum_{j=1}^M P\left(\frac{A_{ij}}{D_1}\right) \log_2 \frac{P\left(\frac{A_{ij}}{D_1}\right)}{P(A_{ij})}; \quad (1)$$

$$Z_{D_2}(A_j) = \sum_{g=1}^M P\left(\frac{A_{ij}}{D_2}\right) \log_2 \frac{P\left(\frac{A_{ij}}{D_2}\right)}{P\left(\frac{A_{ij}}{D_1}\right)}, \quad (2)$$

где  $P\left(\frac{A_{ij}}{D_1}\right), P\left(\frac{A_{ij}}{D_2}\right)$  – условная вероятность наличия  $i$ -го интервала амплитуд  $A$  в  $j$ -ом интервале частот  $\nu$  соответственно для исправного  $D_1$  и дефектного  $D_2$  состояний демпфера;

$P(A_{ij})$  – полная вероятность наличия  $i$ -го интервала  $A$  в  $j$ -ом интервале  $\nu$  для всей системы состояний;

$M$  – число интервалов частот.

Общая диагностическая ценность определится как количество информации, вносимой обследованием в систему состояний

$$Z_D(A_j) = P(D_1)Z_{D_1}(A_j) + P(D_2)Z_{D_2}(A_j), \quad (3)$$

где  $P(D_1), P(D_2)$  – соответственно априорная вероятность исправного и дефектного состояний демпфера.

Массив экспериментальных данных был сформирован в виде диагностической матрицы числа случаев по интервалам относительных амплитуд  $A$  (в масштабе спектрограммы) и интервалам частот  $\nu$  соответственно для исправного  $n\left(\frac{A_{ij}}{D_1}\right)$  и дефектного  $n\left(\frac{A_{ij}}{D_2}\right)$  состояний демпфера. Полная матрица содержит 10 строк интервалов амплитуд в диапазоне от 0 до 18 единиц и 16 столбцов интервалов частот в диапазоне от 0 до 195 Гц. Величины интервалов амплитуд и частот составляют соответственно 2 единицы (за исключением первых двух интервалов, где величина интервала принята равной единице) и 12,2 Гц. Фрагмент такой матрицы представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Фрагмент диагностической матрицы для расчёта информативности

Интервал амплитуд $A$ , безразмерный	Число случаев в интервале частот							
	1		2		3		4	
	$n(D_1)$	$n(D_2)$	$n(D_1)$	$n(D_2)$	$n(D_1)$	$n(D_2)$	$n(D_1)$	$n(D_2)$
0-1	0	0	2	0	11	0	13	0
1-2	0	0	4	0	4	0	1	0
2-4	1	0	9	0	1	0	3	0
4-6	7	0	1	0	1	1	0	0
6-8	4	0	0	5	0	2	0	1
8-10	2	0	1	3	0	3	0	1

Для осуществления практических расчётов, с учётом вновь принятых нами обозначений, формулы (1)-(3) запишем как

$$Z_{D_1}(A_j) = \sum_{j=i}^M \frac{n\left(\frac{A_{ij}}{D_1}\right)}{n(D_1)} \cdot 1,443 \ln \frac{n\left(\frac{A_{ij}}{D_1}\right) \cdot n(D)}{n(D_1) \cdot n\left(\frac{A_{ij}}{D}\right)}; \quad (4)$$

$$Z_{D_2}(A_j) = \sum_{j=i}^M \frac{n\left(\frac{A_{ij}}{D_2}\right)}{n(D_2)} \cdot 1,443 \ln \frac{n\left(\frac{A_{ij}}{D_2}\right) \cdot n(D)}{n(D_2) \cdot n\left(\frac{A_{ij}}{D}\right)}; \quad (5)$$

$$Z_D(A_j) = \frac{n(D_1)}{n(D)} Z_{D_1}(A_j) + \frac{n(D_2)}{n(D)} Z_{D_2}(A_j). \quad (6)$$

Результаты проведённых расчётов диагностической ценности параметров крутильных колебаний представлены в таблице 2.

Анализ результатов таблицы 2 показывает, что диагностическая ценность относитель-

## ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

ных амплитуд для всех интервалов частот достаточно равномерно распределена по массиву экспериментальных данных, при этом величины частной диагностической ценности  $Z_{D_2}(A_j)$  для распознавания дефектных состояний демпфера в среднем в 2,44 раза превышают аналогичные величины исправных состояний.

*Таблица 2 – Результаты расчёта диагностической ценности параметров крутильных колебаний*

Интервал частот	Диагностическая ценность, бит		
	$Z_{D_1}(A_j)$	$Z_{D_2}(A_j)$	$Z_D(A_j)$
1	0,6131	1,5305	0,9306
2	0,5523	1,3922	0,8426
3	0,5541	1,4194	0,8535
4	0,6112	0,3402	0,5176
5	0,6130	1,5305	0,9306
6	0,4954	1,3084	0,7768
7	0,5523	1,3021	0,8427
8	0,6130	1,5305	0,9305
9	0,6130	1,5305	0,9305
10	0,6130	1,5305	0,9305
11	0,6130	1,5305	0,9305
12	0,5541	1,4194	0,8353
13	0,4764	1,3875	0,7918
14	0,4609	1,3844	0,7804
15	0,6130	1,5306	0,9306
16	0,5306	1,0673	0,7162
Средняя	0,5574	1,3640	0,8420

Сравнение полученных ранее результатов исследования диагностической ценности концентрации железа в работающем масле для распознавания состояния ЦПГ дизеля Г70-5 буксиров-толкачей типа «ОТ-2000» [5] с результатами данной работы (таблица 2) позволяет сделать вывод о достаточно высокой информативности параметров крутильных колебаний.

Так, например, среднее значение общей диагностической ценности концентрации железа составило величину 0,353 бит, а среднее значение общей диагностической ценности амплитуд крутильных колебаний – 0,842, что больше примерно в 2,3 раза. Следовательно, с уверенностью можно констатировать, что метод исследования крутильных колебаний при его дальнейшем совершенствовании и развитии может занять достойное место в системе комплексной оценки технического состояния СЭУ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Климов, Е.Н. Основы технической диагностики судовых энергетических установок / Е.Н. Климов. -М.: Транспорт, 1980. -148 с.
- 2 Викулов, С.В. Прогнозирование остаточного ресурса коленчатого вала судового дизеля методом исследования крутильных колебаний / С.В. Викулов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№1. -С. 131-133.
- 3 Викулов, С.В. Торсиографическая оценка технического состояния силиконового демпфера валопровода СЭУ / С.В. Викулов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№1.
- 4 Глушков, С.П. Автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс для регистрации крутильных колебаний энергетических установок БАТС-4 / С.П. Глушков, А.М. Барановский, С.С. Глушков // Сиб. науч. вестн. -2006. -Вып. 9. -С. 109-112.
- 5 Викулов, С.В. Оптимизация алгоритма диагностирования / С.В. Викулов, Л.А. Шеромов // Повышение эффективности технической эксплуатации судовых энергетических установок : тр. НИИВТ /Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп. -Новосибирск, 1983. -С. 68-77.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *диагностический параметр, силиконовый демпфер, крутильные колебания, валопровод, спектрограмма, техническое состояние*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Викулов Станислав Викторович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

## ТОРСИОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛИКОНОВОГО ДЕМПФЕРА ВАЛОПРОВОДА СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.В. Викулов

TORSIOGRAFICHESKAYA EVALUATION OF TECHNICAL CONDITION OF SILICONE DAMPER SHAFTING SHIP POWER PLANTS

«Novosibirsk state academy of water transport»  
S.V. Vikulov

Based on the analysis of the spectrogram of torsional vibrations of ship shafting suggested criteria for assessment of silicone damper engine.

*Keywords: marine diesel engine, shafting, silicone damper, torsional vibration, maintenance, spectrogram*

На основе анализа спектрограммы крутильных колебаний судового валопровода предложены критерии для оценки состояния силиконового демпфера дизеля.

Анализ литературных источников по крутильным колебаниям валопроводов СЭУ показывает, что в основном они посвящены теоретическим аспектам и методам расчёта колебаний различных вариантов энергетических установок и содержат очень мало сведений и рекомендаций прикладного характера, необходимых для принятия решений в условиях эксплуатации СЭУ [1, 2]. Между тем, для обеспечения надёжности валопроводов необходимо учитывать крутильные колебания не только при проектировании, но и в процессе эксплуатации, так как с накоплением усталостных повреждений элементов валопровода или отказом демпфера со временем могут появиться дополнительные сильные резонансы, находящиеся в рабочем диапазоне частот вне установленных при проектировании СЭУ запретных зон. Решение этой проблемы заключается в разработке эффективных методов и средств безразборной диагностики технического состояния элементов СЭУ.

В работах [3, 4] нами рассмотрено решение вопроса прогнозирования ресурса коленчатых валов дизеля по параметрам крутильных колебаний при помощи автоматизированного измерительно-вычислительного комплекса БАГС-4 [5]. Разработанный алгоритм прогнозирования основан на экспериментальном массиве данных исправного состояния всех элементов валопровода СЭУ теплохода. Наряду с этими исследованиями нами был собран экспериментальный материал с дизелей, у которых была нарушена нормальная работа силиконового демпфера (заклинивание инерционной массы в корпусе, повреждение подшипников, утечка силиконовой жидкости или её полимеризация при повышенной температуре и т.д.). Назовём такое состояние демпфера дефектным.

В настоящей работе на основе анализа полученного экспериментального материала предлагаются возможные критерии для оценки состояния демпфера СЭУ в эксплуатационных условиях.

Объектами исследования являлись валопроводы эксплуатируемых дизелей 6NVD26-A3 теплоходов типа «РТ-600» проекта 1741 Омского и Новосибирского речного портов. Методики измерений и обработки параметров крутильных колебаний описанных в работах [2, 3, 5].

Массив экспериментальных данных параметров амплитудно-частотных характеристик спектрограмм был подвергнут статистической обработке. Для каждого интервала частот шириной в 12,2 Гц (всего 16 интервалов в диапазоне от 0 до 195 Гц) в относительных единицах масштаба спектрограммы измерялась величина максимальной амплитуды. Затем рассчитывались средние амплитуды всех интервалов частот. Результаты расчётов представлены в таблице.

Анализ результатов таблицы показывает, что среднее значение амплитуды по массиву данных составило величину в 4,88 единиц. Аналогичная величина для массива дизелей с исправными демпферами равна 1,65 единиц [3]. Таким образом, общий уровень крутильных колебаний валопроводов с дефектными демпферами в 2,96 раз превышает такой уровень амплитуд колебаний валопроводов с исправными демпферами.

Кроме того, детальный анализ спектрограмм показывает, что у всех валопроводов с дефектным состоянием демпфера амплитуда крутильных колебаний на собственной частоте

те 54,031 Гц одноузловой формы колебаний в три и более раз превышает величину амплитуды в валопроводе с исправными демпферами.

*Таблица – Результаты расчёта средних амплитуд крутильных колебаний*

Теплоход	Главный двигатель	Средняя амплитуда, безразмерная
РТ-638	левого борта	5,34
РТ-638	правого борта	5,18
РТ-674	правого борта	4,30
РТ-634	левого борта	4,94
РТ-786	левого борта	4,81
РТ-724	правого борта	4,79
РТ-740	правого борта	4,81
Средняя по массиву		4,88

Таким образом, по результатам проведённых исследований в качестве количественного критерия оценки дефектного состояния силиконового демпфера можно принять трёхкратное превышение уровня средней амплитуды спектрограммы крутильных колебаний, рассчитанной для дизелей с исправными демпферами. Значение средней амплитуды составит 4,95 единицы или  $20 \cdot 10^{-3}$  рад. Дополнительным критерием является наличие резонанса на собственной частоте 54 Гц одноузловой формы крутильных колебаний.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Агуреев, А.Г. Крутильные колебания и надёжность судовых валопроводов / А.Г. Агуреев, Ю.С. Баршай. -М.: Транспорт, 1982. -112 с.
- 2 Штельмах, С.В. Оценка технического состояния валовых линий эксплуатируемых судовых энергетических установок: дис. ... канд. техн. наук / Штельмах Сергей Викторович; Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2010. -165 с.
- 3 Викулов, С.В. Критерий усталостной долговечности коленчатого вала дизеля / С.В. Викулов, С.С. Глушков, С.В. Штельмах // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№1. -С. 201-202.
- 4 Викулов, С.В. Прогнозирование остаточного ресурса коленчатого вала судового дизеля методом исследования крутильных колебаний / С.В. Викулов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№1. -С. 131-133.
- 5 Глушков, С.П. Автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс для регистрации крутильных колебаний энергетических установок БАГС-4 / С.П. Глушков, А.М. Барановский, С.С. Глушков // Сиб. науч. вестн. -2006. -Вып. 9. -С. 109-112.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *судовой дизель, валопровод, силиконовый демпфер, крутильные колебания, техническое состояние, спектрограмма*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Викулов Станислав Викторович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

## **ОБРАЗОВАНИЕ ПРОЧНОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ АГРЕГАТАМИ ДИЗЕЛЬНОЙ САЖИ ТЯЖЕЛЫХ ТОПЛИВ**

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

**В.П. Пушнин**

**THE STRONG TIE OF THE UNITS OF THE DIESEL ENGINE SOOT OF HEAVY FUELS HAS BEEN FORMING**  
 «Novosibirsk state academy of water transport»  
 V.P. Pushnin

The diesel engine soot of heavy fuel and viscous low-ash fuel had been investigated. The hypothesis «welding» of soot units of heavy fuels at the point of touch under solidification of combinations of vanadium at low temperature melting point has been put forward.

*Keywords: diesel engine soot, the «welding» of soot units of heavy fuels*

Исследованы дизельная сажа тяжелого топлива и вязкого дистиллятного топлива. Выдвинута гипотеза «сварки» агрегатов сажи тяжелых топлив в точке касания при затвердевании соединений ва-

надия с низкой температурой плавления.

В [1] применительно к дизельной саже различаются агрегаты первичных, вторичных и третичных структур. В основе такого разделения заложена классическая классификация промышленной сажи, где рассматриваются первичные и вторичные агрегаты [2]. В настоящее время применительно к промышленной саже используется термин «технический углерод», а при его описании, в том числе и в отечественной практике, основываются на стандарте ASTM D 3849 [3]. Согласно ему описательными терминами являются «частица» и «агрегат». Под агрегатом понимается наименьшая диспергируемая единица технического углерода, состоящая из обширно сросшихся частиц. Частица отделяется от агрегата только путем разрыва. Этим стандартом удобно воспользоваться в условиях разрушения структуры.

Образования, состоящие из агрегатов, являются агломератами. На рисунке 1 даны иллюстрации к образованию соответственно агломерата первого порядка, являющегося вторичной структурой и агломерата второго порядка, полученного наслаением агломератов первого порядка перед выпускным клапаном. Такое наслаение является началом формирования третичных структур дизельной сажи.

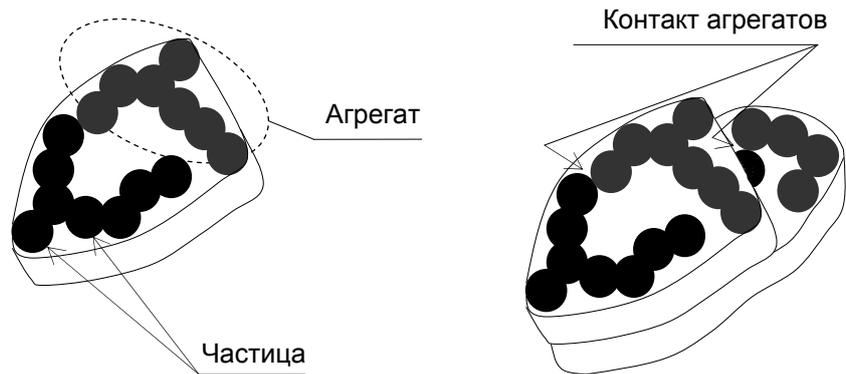


Рисунок 1 – Иллюстрации к образованию агломератов сажи в цилиндре дизеля

В настоящей работе приводятся результаты исследований с использованием метода электропроводности, а также с привлечением сведений по минеральному составу [4] сажи, взятой с дизеля 1С48,5/11. У дизеля была изменена конструкция вставки дополнительной камеры, а также уменьшался угол опережения подачи топлива, что позволило получить саже-содержание выпускных газов в пределах 1,0-1,1 г/м<sup>3</sup>. Отбор проб сажи осуществлялся при помощи мультициклона, улавливалось ее примерно 25% по массе.

Электрическое сопротивление сажи определялось в устройстве, рабочая камера которого представлена на рисунке 2.

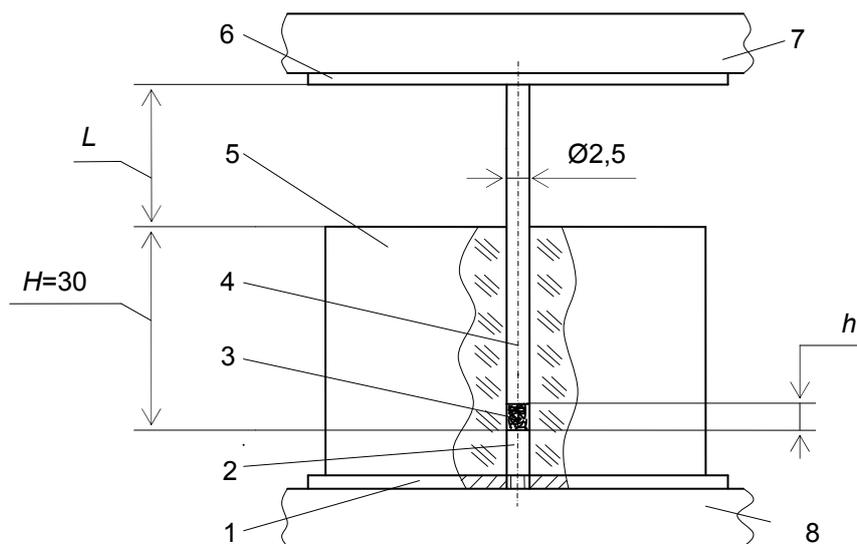


Рисунок 2 – Рабочая камера устройства для определения электрического сопротивления сажи: 1-опорная токопроводящая пластина; 2-неподвижный электрод; 3-испытываемая сажа под грузом; 4-подвижный электрод; 5-корпус камеры из электроизоляционного материала; 6-опорная стальная пластина; 7-подвижная платформа из электроизоляционного материала; 8-опора из электроизоляционного материала

Исследуемая сажа медленно засыпалась до верхней кромки корпуса 5 (столб высотой  $H$ ). После установки электрода 4 сажа предварительно сжималась до определенного значения  $L$ , далее устанавливалась платформа 7. Помещая на платформу различные грузы, обеспечивалось последовательно увеличивающееся давление на сажу 5, 6, 8...18 МПа. При каждом значении давления измерялось электрическое сопротивление столба сажи. Измерялось также перемещение платформы, что позволяло вычислить величину.

Удельное электрическое сопротивление сажи определялось как для однородного проводника

$$\rho = \frac{r \cdot \pi \cdot d^2}{h \cdot 4} \cdot 100, \text{ Ом}\cdot\text{см},$$

где  $r$  – сопротивление столба сажи текущей высоты, кОм;

$d$  – диаметр отверстия в корпусе камеры, мм;

$h$  – текущая высота столба сажи, мм.

Степень уплотнения  $\varepsilon$  находилась отношением  $H/h$ .

Исследовались сажа моторного топлива ДТ и нефтепродукта на основе вакуумного дистиллята. Эти топлива имеют близкие значения кинематической вязкости, соответственно 4,6 и 5,6 мм<sup>2</sup>/с при 50 °С. Значения удельного электрического сопротивления их сажи при давлении, начиная с 5 МПа, представлены на рисунке 3. До этого давления уже произошло уменьшение воздушных зазоров между агломератами и, соответственно, появление дополнительных точек контакта. Также началось разрушение наименее прочных агломератов высокого порядка, в частности образованных перед мультициклоном и внутри его.

В обоих случаях по мере возрастания давления электрическое сопротивление столба сажи падало. Значит, продолжалось разрушение агломератов, которое приводило к увеличению числа точек соприкосновения между частицами соседних агрегатов. Соответственно, количество электропроводных мостиков (завершенных электрических цепей) увеличивалось. Значения сопротивления сажи моторного топлива ДТ при одинаковом давлении оказались больше на порядок, что свидетельствует о каком-то качественном различии сажи.

Еще больше в этом убеждает большая разница значений величины степени уплотнения при давлении 18 МПа (таблица 1). При этом плотность при 18 МПа у сажи нефтепродукта на основе вакуумного дистиллята составила 55,8% от рентгеновской плотности, что позволяет предположить у этой сажи и разрушение части агломератов первого порядка. Рентгеновская плотность (истинная плотность материала, из которого построена сажа) была принята равной 2080 кг/м<sup>3</sup>. Это согласно [2] соответствует промышленной саже ТМ-70, имеющей насыпную плотность 61 кг/м<sup>3</sup>.

Связь между агрегатами в агломератах сажи нефтепродукта на основе вакуумного дистиллята подобно связи в промышленной саже обусловлена физическими силами [5]. Для объяснения прочной связи между агрегатами в агломератах сажи тяжелых топлив выдвигается следующая гипотеза.

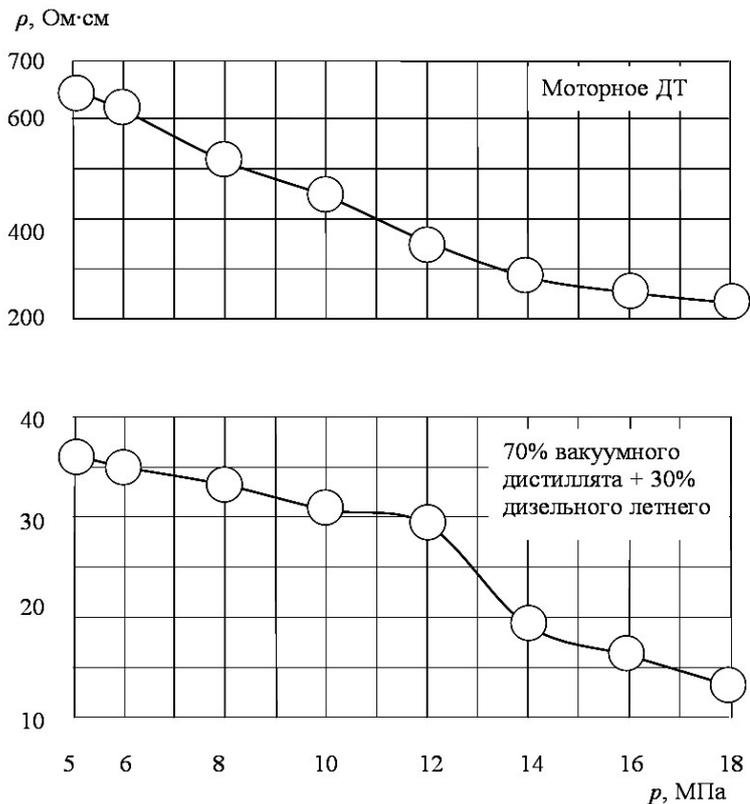


Рисунок 3 – Зависимость удельного электрического сопротивления сажи моторного топлива ДТ и нефтепродукта на основе вакуумного дистиллята от давления

При сжигании тяжелых топлив агрегаты сажи в месте контакта связываются в прочные агломераты первого порядка при затвердевании жидкой ванны соединений ванадия с низкой температурой плавления, то есть подобно сварке. Возможна «сварка» и при наложении агломератов первого порядка перед выпускным клапаном.

Таблица 1 – Плотности сажи

Вид топлива	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Степень уплотнения при 18 МПа	Плотность при 18 МПа, кг/м <sup>3</sup>
Моторное ДТ	66	7,14	471
70% вакуумного дистиллята + 30% дизельного летнего	58	20,00	1160

Полученную значительную разницу значений  $\rho$  у сажи двух топлив можно объяснить исходя из предположения, что электрическое сопротивление «сваренного» места контакта агрегатов выше, чем при связи за счет физических сил. Однако следует учитывать и разницу в минеральном составе сажи (качественную и количественную), да и само наличие «сварки» связано с минеральным составом.

В соответствие со спектральным анализом сажи [4] в обоих нефтепродуктах обнаружен ванадий. При этом в моторном топливе ДТ его в 1,7 раза больше, и имеется оксид кальция СаО. Оксида кальция не обнаружено в нефтепродукте на основе вакуумного дистиллята, очевидно, кальций вошел в какое-то другое соединение. Отсутствие СаО редкий случай, но это дало подсказку применительно к нефтепродукту на основе вакуумного дистиллята.

Согласно [6] в высокотемпературной зоне топки при работе на жидком топливе могут образовываться следующие соединения ванадия с кальцием (таблица 2).

Таблица 2 – Соединения ванадия с кальцием

Название соединения	Химическая формула	Температура плавления, °С
Метаванадат кальция	CaV <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	778
Пированадат кальция	Ca <sub>2</sub> V <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	1015
Ортованадат кальция	Ca <sub>3</sub> V <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	1380
Ванадат кальция	CaVO <sub>3</sub>	1700

У дизеля 148,5/11 выпускной клапан открывается при температуре газов примерно 830 °С. Период от температуры 1100 °С и до температуры открытия выпускного клапана, согласно [1] – высокотемпературный период структурных преобразований сажи в дизеле. Можно предположить, что образовалось одно из двух высокоплавких соединений, представленных в таблице 2.

При работе дизеля на моторном топливе ДТ, наоборот, образовались низкоплавные соединения. Основываясь на указанных выше значениях температуры газов в дизеле 148,5/11 и данных [6] можно заключить следующее. Ванадилванадаты натрия, пятиокись ванадия, метаванадаты Mg, Co, Ni, Ca, Cr, Fe имеют температуру плавления ниже, чем температура газов перед открытием выпускного клапана. Пированадаты Co, Ni, Ca, ортованадат Co, ванадат железа FeV<sub>2</sub>O<sub>4</sub> имеют температуру плавления в диапазоне высокотемпературного периода структурных преобразований сажи в дизеле.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пушкин, В.П. Структура и энергия агрегатов дизельной сажи в потоке отработавших газов / В.П. Пушкин // Двигателестроение. -2009. -№4. -С. 31-35.
- 2 Печковская, К.А. Сажа как усилитель каучука / К.А. Печковская. -М.: Химия, 1968. - 216 с.
- 3 ASTM D 3849. Annual Book of ASTM Standards. -1990. -Vol.09.01. -630 p.
- 4 Пушкин, В.П. Исследование состава сажи выпускных газов дизелей / В.П. Пушкин, В.Д. Сисин // Энергетические установки речных судов: сб. науч. тр. / Новосиб. ин.-т инженеров вод. трансп. -Новосибирск, 1991. -С. 34-40.
- 5 Орлов, В.Ю. Производство и использование технического углерода для резин / В.Ю. Орлов, А.М. Комаров, Л.А. Ляпина. -Ярославль: Александр Рутман, 2002. -512 с.
- 6 Топливо для стационарных и судовых газовых турбин / Б.В. Лосиков [и др.]. -М.: Химия, 1970. -310 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** дизельная сажа, «сварка» агрегатов сажи тяжелых топлив  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Пушкин Валерий Петрович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## **НОВЫЙ ЭТАП В ИССЛЕДОВАНИИ ВОДОТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ**

Учреждение Российской академии наук «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе» СО РАН  
ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»  
ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**Н.В. Малых, В.А. Мухин, А.Л. Манakov, В.М. Пшеницын,  
Б.О. Лебедев, Г.А. Долгополов**

### **A NEW STAGE IN THE STUDY OF WATER-FUEL EMULSIONS**

«Institute of thermophysics named S.S. Kutateladze»

«Siberian state transport university»

«Novosibirsk state academy of water transport»

N.V. Malyh, V.A. Muhin, A.L. Manakov, V.M. Pshenitsyn, B.O. Lebedev, G.A. Dolgoplov

The problems of using water-fuel emulsions on the basis of diesel fuel for high-speed internal combustion engines.

*Keywords: water-fuel emulsions, diesel fuel, high-speed engines*

Рассмотрены проблемы использования водотопливных эмульсий на базе дизельного топлива для высокооборотных двигателей внутреннего сгорания.

Исследование водотопливных эмульсий (ВТЭ) продолжает оставаться актуальным из-за ряда нерешённых вопросов, препятствующих её широкому практическому использованию. Рассмотрим получение мелкодисперсных водотопливных эмульсий путём ультразвуковой кавитационной обработки для возможности использования в высокооборотных дизелях.

Нами были проведены опыты по исследованию смесей дизельного топлива (ДТ) и мазута марки ТКМ-16 с водой в широком диапазоне составов от 5 до 95% топлива. Для получения эмульсий применялась магнитострикционная (МС) обработка этих смесей с помощью лабораторной ультразвуковой (УЗ) установки ИЛ 100 6/4. Выходная мощность установки составляет около 2 кВт. При этом МС воздействие, с частотой 23 кГц, на приготовленную смесь продолжалось в течении 20 мин. Количество топлива и воды измерялось взвешиванием на портативных электронных весах Scout SC 2020-EU1.

Качество водотопливных эмульсий определяется дисперсностью (средним размером частиц), равномерностью распределения водной фазы, устойчивостью к расслоению и теплотворной способностью. Для этого были проведены следующие виды анализа: внешний визуальный осмотр, оптический (при помощи микроскопа), хроматографический и калориметрический.

Внешним осмотром исследовались величина слоев эмульсии и примерные максимальные размеры капелек воды в ней в течение 40 суток для оценки ее способности сохранять свою структуру. В итоге, для дальнейших анализов были выделены эмульсии с наилучшими характеристиками из разных групп по составу: по одному образцу из группы 90-95% ДТ, группы 30-50% ДТ и группы 5-20% ДТ. Кроме того, измерялось изменение массы образцов до обработки и после. В результате было замечено, что это изменение не превысило 0,02%.

Для проведения анализа эмульсий оптическим способом были использованы специально подготовленные стекла. Стекла располагались параллельно друг другу, а между ними располагался скотч, приклеенный к поверхности нижнего стекла. Толщина скотча составляла примерно 40 мкм. В полоске скотча вырезалось отверстие круглой формы, куда помещалась капля эмульсии. Для проведения анализа оптическим способом, была задействована установка, которая состоит из веб-камеры Trust Webcam Live WB-5400 и микроскопа Биолам Р4У42. Было выяснено, что для анализа достаточно использование увеличения  $\times 8$ . Анализируя полученные снимки, можно сделать вывод, что капли воды (светлые пузырьки) распределены по эмульсии достаточно равномерно, без больших скоплений. Следующей задачей являлось определение размера капель воды в эмульсии. При помощи объективометра были измерены размеры капель воды. В результате менее 5% пузырьков имели размер 40 мкм и более, до 30% пузырьков имели размер 10-40 мкм, остальные 65% были менее 10 мкм в диаметре. Это означает, что полученные эмульсии являются микродисперсными.

Анализ хроматографическим способом выполнялся на газовом хроматографе Хро-

мос GX-1000. Полученные хроматограммы показали что ДТ является смесью, состоящей из различных углеводородов и их изомеров. При сравнении двух хроматограмм обработанного кавитацией ДТ и необработанного был сделан вывод, что химический состав ДТ до и после обработки кавитацией практически (с точностью до 2%) не изменяется. Это дает основание предполагать, что воздействие кавитации на эмульгированное ДТ влияет только на воду, которая находится в виде капелек в оболочке из ДТ.

Анализ теплоты сгорания выполнялся в калориметре В-08-МА. Для взвешивания проб использовались лабораторные аналитические весы ВЛА-200г-М. Определение теплоты сгорания эмульсии, состоящей из 40% ДТ; 0,2% мазута и 59,8% воды дало значение 18,08 МДж/кг. Для сравнения этой теплоты сгорания с теплотой сгорания чистого эмульгированного 100% ДТ составлялась пропорция: если 40% ДТ в эмульсии дают теплоту сгорания 18,08 МДж/кг, то 100% ДТ должны давать 45,2 МДж/кг. Полученная величина теплотворной способности эмульгированного ДТ выше, чем у чистого ДТ и мазута и находится на уровне теплотворной способности бензина.

Для испытания на двигателе были приготовлены шесть одинаковых порций ВТЭ по 100 мл каждая в соответствии с таблицей.

Испытания проводились на дизельном двигателе (В)СН-7. Двигатель запускался при использовании чистого дизельного топлива. После начала работы из топливного бака были удалены остатки этого топлива и залито заранее приготовленная и дополнительно перемешанная вручную (в течение 1 мин.) эмульсия. После перехода двигателя на работу с эмульсией, двигатель продолжал работать устойчиво; при этом отмечено небольшое снижение числа оборотов и значительное уменьшение дымности отработавших газов.

Поскольку эмульсия приготавливалась в стационарных условиях, необходимо осуществлять ее перемешивание перед подачей в двигатель для исключения расслаивания. Для этого были разработаны изменения в конструкции топливного бака (рисунок 1). В качестве прототипа был взят топливный бак емкостью 200 л грузового автомобиля МАЗ-500.

Таблица – Характеристика эмульсии для испытания на двигателе

Наименование	Численное значение
Содержание воды, %	19,8
Содержание ДТ, %	80,0
Содержание мазута, %	0,2
Температура смеси начальная, °С	23
Температура смеси конечная, °С	70
Частота ультразвуковой обработки, кГц	23
Время обработки, мин.	1-2

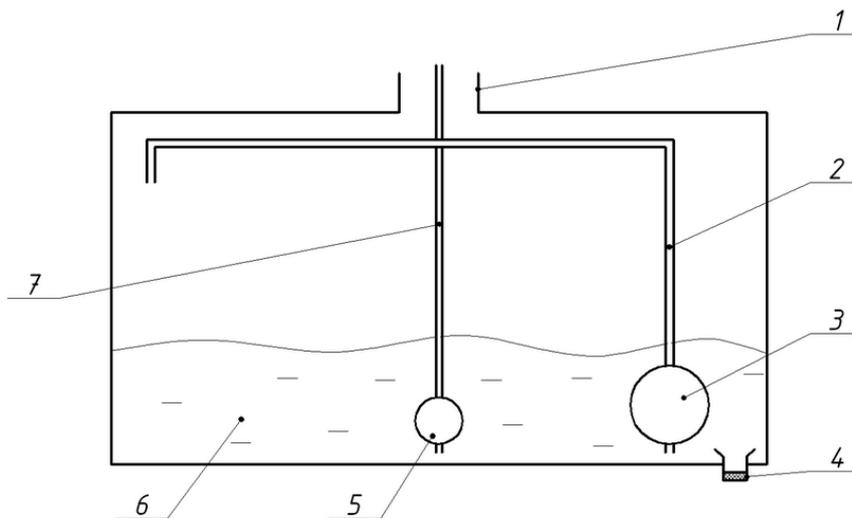


Рисунок – Схема топливного бака: 1-наливная горловина; 2-переливной трубопровод; 3-насос для перекачивания топлива; 4-сливная пробка; 5-топливоподкачивающий насос; 6-топливная эмульсия; 7-топливоподкачивающий трубопровод

Для улучшения работы системы топливный бак необходимо расположить с уклоном 3-5° в сторону, противоположную сливной пробке бака. Данная схема представлена в виде модели и не испытывалась в реальных условиях.

В проведенной работе использовались современные приборы и оборудование для ка-

витационной обработки смеси, а также для ее анализа. Была освоена технология производства эмульсии дизельного топлива с водой от момента выбора исходного топлива до конечного продукта, готового к использованию в двигателях внутреннего сгорания. Применение эмульсий дизельного топлива с водой позволяет решить комплексную задачу: повысить эффективность использования топлива автотранспортом, снизить расход топлива, а также вредные выбросы в окружающую среду. Использование явления кавитации является перспективным направлением для улучшения характеристик топлива и снижения его расхода в высокооборотных дизелях.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** водотопливные эмульсии, дизельное топливо, высокооборотные двигатели  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Малых Нина Владимировна, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник ИТ СО РАН  
Мухин Валентин Александрович, докт. техн. наук, профессор ИТ СО РАН  
Манаков Алексей Леонидович, канд. техн. наук, доцент, первый проректор ГОУ ВПО «СГУПС»  
Пшеницын Владимир Михайлович, инженер ГОУ ВПО «СГУПС»  
Лебедев Борис Олегович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Долгополов Геннадий Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаверентьева, 1, ИТ СО РАН  
630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»  
630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ТОПЛИВА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**Г.А. Долгополов, Б.О. Лебедев, Ф.Н. Сторожев**

**INVESTIGATION OF BIO-FUEL**  
**«Novosibirsk state academy of water transport»**  
G.A. Dolgoplov, B.O. Lebedev, F.N. Storozhev

On a standard installation are determined by the properties of combustible waste poultry factory and concludes on the possibility of combustion in industrial furnaces.

*Keywords: sample, the heat of combustion, dry fuel, moisture, flammability, safety, ash*

На стандартной установке определяются горючие свойства отходов птицефабрики и делается вывод о возможности их сжигания в промышленных печах.

В настоящее время выяснение возможности использования производственных отходов является актуальной задачей. В частности, возникает необходимость в полезном использовании отходов на современных птицефабриках. Крупное птицеводческое предприятие имеет в сутки до 100 т отходов в виде помётно-подстилочной массы. Так как эти отходы представляют опасность для человека и окружающей среды, то за их сдачу взимается плата 497 руб. за тонну. В этих условиях появляется естественное желание разработать технологию создания таких отходов, которые можно было бы сжигать в стандартных печах.

Исследование теплотворной способности образцов отходов птицефабрики выполнялось на кафедре Термодинамики и судовых энергетических установок ФГОУ ВПО «НГАВТ». Предстояло определить не только теплоту сгорания образцов, но и выяснить зависимость теплотворной способности от степени размельчения отходов, влагосодержания и условий их хранения.

ООО «Биологические Источники Энергии» разрабатывают технологию переработки отходов предприятий и предоставили пять проб топлива, которое представляло собой сухой рыхлый порошок коричневого цвета. Было известно, что в этом топливе нет серы, массовое содержание водорода 6%; азота 5%.

Испытания проводились в стандартной калориметрической установке В-08М согласно ГОСТ 21261-91 «Нефтепродукты. Метод определения высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания». Высшая теплота сгорания определялась по формуле

$$Q_g = \frac{14,88(\Delta t + \delta x) - 0,014}{m}, \text{ кДж/кг,}$$

где 14,88 – эффективная теплоёмкость калориметра, кДж/К;  
0,014 – теплота сгорания запальной проволоочки, кДж;

- $\Delta t$  – повышение температуры в главном периоде, °С;  
 $x$  – число полуминутных промежутков в главном периоде;  
 $m$  – масса навески (пробы) топлива, кг;  
 $\delta$  – поправка на теплообмен в калориметре, °С,

$$\delta = \frac{\Delta t' + \Delta t''}{2};$$

- $\Delta t'$  – температурная поправка в начальном периоде, °С;  
 $\Delta t''$  – температурная поправка в конечном периоде, °С.

Низшая теплота сгорания

$$Q_n = Q_g - 25(9H + W) = Q_g - 1350 - 25W, \text{ кДж/кг},$$

- где  $H$  – массовая доля водорода в топливе, %;  
 $W$  – массовая влажность топлива, %.

Результаты измерений представлены в таблице 1. Теплота сгорания сухих проб примерно одинакова и находится в пределах 15,0-15,8 МДж/кг. Полученные результаты соответствует нижней границей существующих твёрдых топлив. Для всех проб характерна хорошая воспламеняемость.

Так как испытания сухих проб не выявили существенной разницы в их теплотворной способности, то перед испытанием влажных топлив все пробы решено было объединить и перемешать. В полученные пробы под названием добавлялась вода до получения влажности по массе 29-62%. Пробы вручную тщательно перемешивались. При больших влажностях получалась кашеобразная масса, а при влажности свыше 55% в пробе моментально оттаивалась вода. В результате проведённых опытов был сделан вывод, что при влажности до 52% топливо по прежнему легко сжигается. При этом с увеличением влажности сгорание улучшается, и теплота сгорания растёт (в условиях реальной печи теплота сгорания расти не будет, так как влага, получив энергию, будет выбрасываться в атмосферу). При влажности более 60% топливо не сгорело.

Таблица 1 – Теплота сгорания сухих проб

Проба	$m$ , г	$\Delta t$ , °С	$\delta$ , °С	$\delta x$ , °С	$W$ , %	$Q_g$ , МДж/кг	$Q_n$ , МДж/кг
I.1	0,75	0,850	0,0006	0,0042	0	16,93	15,58
I.2	0,95	1,040	0,0010	0,0070	0	16,38	15,03
II.1	0,95	1,090	0,0009	0,0063	0	17,16	15,81
II.2	0,95	1,053	0,0006	0,0048	0	16,55	15,20
III.1	0,95	1,070	-0,0007	-0,0049	0	16,67	15,32

Таблица 2 – Теплота сгорания влажных проб

Проба	$m$ , г	$\Delta t$ , °С	$\delta$ , °С	$\delta x$ , °С	$W$ , %	$Q_g$ , МДж/кг	$Q_n$ , МДж/кг
1	0,96	1,075	0,0007	0,0056	29	16,74	14,66
2	0,95	1,100	0,0007	0,0049	37	17,29	15,00
3	0,95	1,110	-0,0005	-0,0039	50	17,30	14,70
4	1,00	–	–	–	62	не сгорело	не сгорело
5	0,94	0,9	-0,0025	-0,0150	0	14,00	12,65

Также была исследована возможность деградации (пятая проба, см. таблицу 2) исследуемого топлива. Проба топлива перемешивалась с водой до получения оттаивающей жидкости, а затем в течение недели высушивалась в нормальных условиях при периодических перемешиваниях до  $W = 0\%$ . В результате был сделан вывод, что снижение теплоты сгорания топлива мало и происходит лишь за счёт удаления летучих компонентов, а деградации топлива фактически нет.

При испытаниях было обращено внимание зольные остатки. Зола во всех пробах была практически одинакова: чёрного цвета порошок с отдельными чёрными шариками диаметром 1-2 мм. Количество золы по массе составляет примерно 6%.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** проба, теплота сгорания, сухое топливо, влажность, воспламеняемость, сохранность, зола

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Долгополов Геннадий Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
 Лебедев Борис Олегович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
 Сторожев Фёдор Николаевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

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

## ОЦЕНКА КАВИТАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЖИДКОСТИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Г.А. Долгополов

ESTIMATION OF THE CAVITATION EFFECTS OF FLUID  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
G.A. Dolgoplov

The equation of the amplitude of the pressure in the cavitation wave. Established that the lowest cavitation damage caused by non-polar liquids with symmetrical molecules.

Keywords: cavitation, erosion, acoustic absorption, non-polar liquids

Анализируется уравнение амплитуды давления в кавитационной волне. Устанавливается, что наименьшие кавитационные разрушения вызываются неполярными жидкостями с симметричными молекулами.

До настоящего времени отсутствуют удобные в инженерной практике методы оценки кавитационных воздействий жидкостей на материалы. Это связано как с разнообразием процессов кавитации, так и с разным характером эрозии материалов.

Наиболее достоверной количественной оценкой кавитационного воздействия жидкости считается плотность потока внешней энергии [1]. Важной характеристикой рассматриваемых явлений представляется инкубационный период накопления повреждений [2]. Широко известен интеграл вероятностей [3], описывающий зависимость глубины эрозии от продолжительности кавитационного воздействия жидкости. Эти разработки лежат в основе зависимости эрозии материалов от продолжительности кавитационного воздействия жидкости.

Плотность потока внешней энергии отдельного импульса  $U$  описывается выражением

$$U = \frac{1}{2} \frac{\rho_A \cdot w_A}{c} = \rho_A \frac{\pi \cdot f \cdot A_0}{c}, \quad (1)$$

где  $\rho_A, w_A$  – амплитуды соответственно давления и скорости ударной волны жидкости возле эродируемой поверхности;  
 $c$  – скорость звука в жидкости;  
 $f, A_0$  – соответственно частота и амплитуда смещения ударной волны.

Амплитуда давления  $\rho_A$  возле эродируемой поверхности представляется уравнением

$$\rho_A = \rho_A^{\max} \left[ (1 + 2D^2) \sqrt{A^2 - 4C^2} + 2BD \right] E, \quad (2)$$

где  $\rho_A^{\max}$  – амплитуда давления в ударной волне возле кавитационного пузырька;  
 $A, B, C, D, E$  – свойства жидкости и параметры кавитации,

$$A = -\frac{R_0}{R} \exp[-af^2(R - R_0)] \left[ 1 + \frac{af^2 A_1 R}{1 + k^2 R_0 R} \cdot \frac{(1 - kR_0)^2}{(1 + kR_0)^2} \cdot \left( 1 - \frac{R_0}{R} \right) \right];$$

$$B = \frac{R_0}{kR^2} \exp[-af^2(R - R_0)] \left[ 1 - \frac{2R_0 A_1 af^2}{1 + (kR_0)^2} \right]; \quad C = \frac{A_1 k^2 R_0^2 (\gamma + 1)}{2R} \ln \frac{R}{R_0} \exp[-2af^2(R - R_0)];$$

$$D = \frac{\frac{1}{2} k^2 A_1 R_0 (\gamma + 1) \ln \frac{R}{R_0} \exp[-af^2(R - R_0)]}{1 + \frac{af^2 A_1 R}{1 + k^2 R_0 R} \cdot \frac{(1 - kR_0)^2}{(1 + kR_0)^2} \cdot \left( 1 - \frac{R_0}{R} \right)}; \quad E = 1 - \frac{2\pi f^3 a A_1 z}{c},$$

$R_0$  – средний радиус кавитационного пузырька;  
 $R$  – текущее значение радиуса исходящей от пузырька ударной волны;  
 $A_1$  – амплитуда смещения кавитационного пузырька;  
 $k$  – волновое число,

$$k = 2\pi \frac{f}{c};$$

$\gamma$  – показатель адиабаты;

- $z$  – глубина дефекта;  
 $a$  – приведённый акустический коэффициент поглощения.

Анализ этих уравнений показывает, что если параметры кавитации и некоторые свойства жидкостей могут изменяться не более чем в десяток раз, то приведённый акустический коэффициент поглощения различается в сотни раз. Его значения при нормальных условиях в различных жидкостях лежат в пределах  $(25-200\ 000) \cdot 10^{-15} \text{ с}^2/\text{м}$ . Наименьший коэффициент поглощения в большом диапазоне частот имеет вода [4]. Невелико поглощение в спиртах. А самое большое поглощение кавитационных волн происходит в неполярных жидкостях с симметричными и поэтому слабо взаимодействующими молекулами. Сложная молекулярная структура таких жидкостей легко деформируется (сворачивается) при встречном сопротивлении своему движению (нефтепродукты, масла и т.п.).

Кроме этого с повышением температуры в жидкостях с малым поглощением коэффициент  $a$  увеличивается мало, а в жидкостях с большим поглощением он может возрасти на несколько порядков.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Погодаев, Л.И. Гидроабразивный и кавитационный износ судового оборудования / Л.И. Погодаев, П.А. Шевченко. -Л.: Судостроение, 1984. -208 с.
- 2 Козырев, С.П. Гидроабразивный износ металлов при кавитации / С.П. Козырев. -М.: Машиностроение, 1971. -240 с.
- 3 Митропольский, А.К. Интеграл вероятностей / А.К. Митропольский // Тр. Ленингр. ун-та. -Л., 1972. -С. 26-27.
- 4 Долгополов, Г.А. Обобщённый показатель кавитационного воздействия жидкости / Г.А. Долгополов // Труды /Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп. -Новосибирск, 1983. -С. 110-113.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** кавитация, эрозия, акустический коэффициент поглощения, неполярные жидкости  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Долгополов Геннадий Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ СЕПАРИРОВАНИЯ МОТОРНОГО МАСЛА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ МЕТОДАМИ ВАРИАЦИОННОГО ИСЧИСЛЕНИЯ

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

**Г.П. Кича, А.В. Надежкин, Н.К. Пак**

### OPTIMIZATION OF THE MODES ENGINE OIL SEPARATION IN THE MARINE DIESEL ENGINE BY MEANS OF VARIATIONAL CALCULUS METHODS

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoy»  
G.P. Kicha, A.V. Nadezkin, N.K. Pak

Calculation methods of the most effective operation of the centrifugal separator during engine oil cleaning are given. Recommendations for selection of its optimal delivery value and control programs for advancement of maximum effect in separation of the complex dispersed systems are given. Efficiency of the developed control programs of the separator's delivery value during periodic and continuous engine oil cleaning is estimated.

*Keywords: engine oil, centrifugal oil cleaning, separator's optimal delivery value*

Приводится методика расчета наиболее эффективной работы центробежного сепаратора при очистке моторного масла ДВС. На основе вариационного исчисления даны рекомендации по выбору его оптимальной пропускной способности и программ управления для достижения максимального эффекта в разделении сложных дисперсных систем. Осуществлена оценка эффективности разработанных программ управления пропускной способностью сепаратора при периодической и непрерывной очистке моторного масла в судовых дизелях.

В настоящее время частично поточное включение центробежного сепаратора (ЦС) в систему смазки (СС) мощных дизелей является единственным методом, который обеспечи-

вает глубокую очистку моторного масла (*ММ*) от механических примесей и воды. Схема включения в *СС* и режимы работы сепаратора сказываются на эффективности удаления продуктов загрязнения из циркуляционного масла *ДВС*. Интенсивность очистки зависит, прежде всего, от пропускной способности  $Q_c$  *ЦС*. Поэтому необходима разработка таких программ управления пропускной способностью очистителя, при которых скорость удаления из *ММ* загрязнений была бы максимальной.

Попытки оптимизировать работу сепараторов предпринимались не однажды. Однако режимы очистки оптимизировались эмпирически и без учета переменной дисперсности загрязнений. Поэтому рекомендации по ним носят частный характер, область их применения ограничена. Расчеты  $Q_{opt}$  в этом случае дают значительную погрешность, вследствие того, что оптимизация осуществляется только на основе уравнения материального баланса загрязнений, без учета изменяющегося состояния дисперсной фазы (*ДФ*) [1].

Рассматриваемый подход устраняет указанные недостатки, так как учитывает особенности временного дрейфа дисперсного состава загрязнителя. Он базируется на системе дифференциальных уравнений (1), описывающих изменение не только концентрации с нерастворимых в бензине (*НРБ*) примесей в *ММ*, но и состава *ДФ* – математического ожидания  $m_d$  и дисперсии  $\sigma_d^2$

$$\begin{cases} \frac{dc}{d\tau} = \frac{1}{G_0} \left( a_c + Q_\delta c_\delta - K_y Q_y c - \sum_{k=1}^{n_k} Q_k \varphi_k c \right); \\ \frac{dm_d}{d\tau} = \frac{1}{G_0} \left[ \frac{a_c}{c} (m_{da} - m_d) - \sum_{k=1}^{n_k} Q_k (1 - \varphi_k) (m_d - m_{dk}) - Q_y (1 - K_y) m_d + Q_\delta \frac{c_\delta}{c} (m_{d\delta} - m_d) \right]; \\ \frac{d\sigma_d}{d\tau} = \frac{1}{2G_0\sigma_d} \left[ \frac{a_c}{c} (\overline{d_a^2} - \overline{d^2} - 2m_{da}m_d + 2m_d^2) + (\overline{d_k^2} - \overline{d^2} - 2m_{dk}m_d + 2m_d^2) + \right. \\ \left. + \sum_{k=1}^{n_k} Q_k (1 - \varphi_k) + Q_\delta \frac{c_\delta}{c} (\overline{d_\delta^2} - \overline{d^2} - 2m_{d\delta}m_d + 2m_d^2) \right]. \end{cases} \quad (1)$$

где  $c$  – значение текущей концентрации загрязняющих примесей в работающем *ММ*;

$G_0$  – вместимость *СС*;

$a_c$  – скорость накопления загрязняющих примесей в масле;

$Q_\delta$  – скорость долива *ММ*;

$c_\delta$  – значение концентрации загрязняющих примесей в доливаемом масле;

$Q_k$  – пропускная способность  $k$ -го очистителя;

$\varphi_k$  – коэффициент полноты отсева  $k$ -го очистителя;

$K_y$  – доля загрязнений выгораемых с маслом;

$Q_y$  – расход масла на угар;

$d, d_\delta, d_k, d_a$  – диаметр частиц нерастворимой фазы, находящихся соответственно в циркуляционном и доливаемом масле, в фильтрате  $k$ -го очистителя и в поступающем в *СС* загрязнителе;

$m_d, \sigma_d, m_{d\delta}, \sigma_{d\delta}, m_{dk}, \sigma_{dk}, m_{da}, \sigma_{da}$  – математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение диаметра частиц, находящихся соответственно в циркуляционном и доливаемом масле, в фильтрате  $k$ -го очистителя и в поступающем загрязнителе;

$\tau$  – срок службы масла.

Коэффициенты полноты отсева  $\varphi_k$  *НРБ* продуктов разными маслоочистителями определяли на основе стохастической теории фильтрования и центрифугирования (сепарирования) [2].

Принимая во внимание изложенное, построим функции оптимизации *ЦС*. Учитывая схемы и способы функционирования названных маслоочистителей, поиск оптимальных программ управления пропускной способностью предусматривал:

1 Обеспечить наименьшую концентрацию загрязнений в масле *СС* при непрерывной байпасной его очистке.

2 Достигнуть при периодическом подключении сепаратора минимальной продолжительности его работы, обеспечивающей потребное уменьшение загрязненности масла.

Из анализа системы уравнений (1) следует, что искомые критерии оптимальности могут быть сформулированы как задаче минимизации функционала

$$J = \int_{\tau_0}^{\tau_1} \varphi_0(c, Q_c) d\tau, \quad (2)$$

где  $\varphi_0(c, Q_c)$  – заданная функция переменных  $c$  и  $Q_c$ ;

$\tau_0, \tau_1$  – соответственно, время начала и конца процесса.

Если  $\varphi_0 = 1$ , то (2) реализуется в виде

$$J = \int_{\tau_0}^{\tau_1} d\tau = \tau_1 - \tau_0. \quad (3)$$

Следовательно, задача минимизации функционала сводится к минимизации времени достижения требуемого уровня загрязнения  $MM$ .

Если положить, что

$$\varphi_0 = \frac{a_c - (K_y Q_y + Q_\phi \varphi_\phi + Q_c \varphi_c) c}{G_0},$$

где  $Q_\phi, Q_c$  – пропускная способность фильтра и сепаратора;

$\varphi_\phi, \varphi_c$  – коэффициенты полноты отсева фильтра и сепаратора, то

$$J = \int_{\tau_0}^{\tau_1} \frac{a_c - (K_y Q_y + Q_\phi \varphi_\phi + Q_c \varphi_c) c}{G_0} d\tau = c(\tau_1) - c(\tau_0), \quad (4)$$

и оптимизация режимов сепарирования трансформируется в минимизацию разности между конечной  $c(\tau_1)$  начальной  $c(\tau_0)$  концентрациями *НРБ* продуктов в масле, что соответствует минимизации конечного значения концентрации  $c_1$ , при начальном  $c_0$ .

Таким образом, цели оптимального управления *ЦС*, идентифицированные уравнениями (3) и (4), являются задачами вариационного исчисления. На управляющее воздействие – пропускную способность  $Q_c$  сепаратора – накладывается ограничение  $0 < Q_c < Q_n$  (паспортная пропускная способность сепаратора).

Вариационные задачи такого типа классическими методами решить трудно. Сложность применения для оптимизации обобщенных уравнений Эйлера-Лагранжа обусловлена наложенными ограничениями и предполагает громоздкие математические преобразования.

Согласно результатам исследований, в рассматриваемом случае целесообразно применить один из основных методов неклассического вариационного исчисления – принцип максимума. Практика оптимизации процессов, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями, показала эффективность использования для этой цели принципа максимума Понтрягина [3].

В соответствии с общей схемой решения задач оптимального управления, с учетом изложенного, запишем гамильтониан для задачи быстрогодействия, который представляет собой скалярное произведение векторов  $\lambda_1 \frac{dc}{d\tau}, \lambda_2 \frac{dm_d}{d\tau}$  и  $\lambda_3 \frac{d\sigma_d}{d\tau}$ :

$$\begin{aligned} \tilde{H} = & \frac{\lambda_1}{G_0} [a_c - (K_y Q_y + Q_\phi \varphi_\phi + Q_c \varphi_c) c] + \\ & + \frac{\lambda_2}{G_0} \left[ \frac{a_c}{c} (m_{da} - m_d) + Q_\phi (1 - \varphi_\phi) (m_{d\phi} - m_d) + Q_c (1 - \varphi_c) (m_{dc} - m_d) \right] + \\ & + \frac{\lambda_3}{2G_0 \sigma_d} \left[ \frac{a_c}{c} (\bar{d}_a^2 - \bar{d}^2 - 2m_{da} m_d + 2m_d^2) + \right. \\ & \left. + Q_\phi (1 - \varphi_\phi) (\bar{d}_\phi^2 - \bar{d}^2 - 2m_{d\phi} m_d + 2m_d^2) + \right. \\ & \left. + Q_c (1 - \varphi_c) (\bar{d}_c^2 - \bar{d}^2 - 2m_{dc} m_d + 2m_d^2) \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  – вспомогательные переменные, определяемые при решении сопряженных уравнений.

Взятие производных в уравнении (5) приводит к результату:

$$\frac{d\lambda_1}{d\tau} = -\frac{\partial \tilde{H}}{\partial c} = \frac{1}{G_0} \left[ \lambda_1 (K_y Q_y + Q_\phi \varphi_\phi + Q_c \varphi_c) + \lambda_2 (m_{da} - m_d) \frac{a_c}{c^2} + \lambda_3 (\overline{d_a^2} - \overline{d^2} - 2m_{da} m_d + m_d^2) \frac{a_c}{2c^2 \sigma_a} \right]; \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_2}{d\tau} = -\frac{\partial \tilde{H}}{\partial d} = \frac{1}{G_0} & \left\{ \lambda_1 c Q_\phi \left( \frac{\partial \varphi_\phi}{\partial d} + Q_c \frac{\partial \varphi_c}{\partial d} \right) + \lambda_2 \left[ \frac{a_c \partial m_d}{c \partial d} + Q_\phi (1 - \varphi_\phi) \left( 1 - \frac{\partial m_d}{\partial d} \right) + \right. \right. \\ & + (m_{d\phi} - m_d) \frac{Q_\phi \partial \varphi_\phi}{\varphi d} + Q_c (1 - \varphi_c) \left( 1 - \frac{\partial m_d}{\partial d} \right) + (m_{dc} - m_d) \frac{Q_c \partial \varphi_c}{\partial d} \left. \right] + \frac{\lambda_3}{2\sigma_d} \left[ \frac{a_c}{c} \left( \frac{\partial \overline{d^2}}{\partial d} + \right. \right. \\ & + 2m_{da} \frac{\partial m_d}{\partial d} - 2 \frac{\partial m_d^2}{\partial d} \left. \right) + \frac{a_c}{c \sigma_d} (\overline{d_a^2} - \overline{d^2} - 2m_{da} m_d + m_d^2) \frac{\partial \sigma_d}{\partial d} - Q_\phi (1 - \varphi_\phi) \left( \frac{\partial \overline{d_\phi^2}}{\partial d} - \right. \\ & - \frac{\partial \overline{d^2}}{\partial d} - 2m_{d\phi} \frac{\partial m_d}{\partial d} - 2m_d \frac{\partial m_{d\phi}}{\partial d} + 2 \frac{\partial d_d^2}{\partial d} \left. \right) + Q_\phi (\overline{d_\phi^2} - \overline{d^2} - 2m_{d\phi} m_d + m_d^2) \frac{\partial \varphi_\phi}{\partial d} + \\ & + \frac{Q_\phi}{\sigma_d} (1 - \varphi_\phi) (\overline{d_\phi^2} - \overline{d^2} - 2m_{d\phi} m_d - 2m_d^2) \frac{\partial \sigma_d}{\partial d} - Q_c (1 - \varphi_c) \left( \frac{\partial \overline{d_c^2}}{\partial d} - \frac{\partial \overline{d^2}}{\partial d} - 2m_{dc} \frac{\partial m_d}{\partial d} - \right. \\ & - 2m_d \frac{\partial m_{dc}}{\partial d} + 2 \frac{\partial m_d^2}{\partial d} \left. \right) + Q_c (\overline{d_c^2} - \overline{d^2} - 2m_{dc} m_d + 2m_d^2) \frac{\partial \varphi_c}{\partial d} + \frac{Q_c}{\sigma_d} (1 - \varphi_c) \times \\ & \left. \left. \times (\overline{d_c^2} - \overline{d^2} - 2m_{dc} m_d + 2m_d^2) \frac{\partial \sigma_d}{\partial d} \right\}; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_3}{d\tau} = -\frac{\partial \tilde{H}}{\partial \sigma_d} = \frac{1}{G_0} & \left\{ \lambda_1 c \left( Q_\phi \frac{\partial \varphi_\phi}{\partial \sigma_d} + Q_c \frac{\partial \varphi_c}{\partial \sigma_d} \right) + \lambda_2 \left[ \frac{a_c \partial m_d}{c \partial \sigma_d} + Q_\phi (1 - \varphi_\phi) \left( \frac{\partial m_{d\phi}}{\partial \sigma_d} - \frac{\partial m_d}{\partial \sigma_d} \right) + \right. \right. \\ & + Q_\phi (m_{d\phi} - m_d) \frac{\partial \varphi_\phi}{\partial \sigma_d} - Q_c (1 - \varphi_c) \left( \frac{\partial m_{dc}}{\partial \sigma_d} - \frac{\partial m_d}{\partial \sigma_d} \right) + Q_c (m_{dc} - m_d) \frac{\partial \varphi_c}{\partial \sigma_d} \left. \right] + \frac{\lambda_3}{2\sigma_d} \times \\ & \times \left[ \frac{a_c}{c} \left( \frac{\partial \overline{d^2}}{\partial \sigma_d} + 2m_{da} \frac{\partial m_d}{\partial \sigma_d} - 2 \frac{\partial m_d^2}{\partial \sigma_d} \right) + \frac{a_c}{c \sigma_d} (\overline{d_a^2} - \overline{d^2} - 2m_{da} m_d + 2m_d^2) - Q_\phi (1 - \varphi_\phi) \times \right. \\ & \times \left( \frac{\partial \overline{d_\phi^2}}{\partial \sigma_d} - \frac{\partial \overline{d^2}}{\partial \sigma_d} - 2m_{d\phi} \frac{\partial m_d}{\partial \sigma_d} - 2m_d \frac{\partial m_{d\phi}}{\partial \sigma_d} + 2 \frac{\partial m_d^2}{\partial \sigma_d} \right) + Q_\phi (\overline{d_\phi^2} - \overline{d^2} - 2m_{d\phi} m_d + 2m_d^2) \times \\ & \times \frac{\partial \varphi_\phi}{\partial \sigma_d} + \frac{Q_\phi}{\sigma_d} (1 - \varphi_\phi) (\overline{d_\phi^2} - \overline{d^2} - 2m_{d\phi} m_d + 2m_d^2) - Q_c (1 - \varphi_c) \left( \frac{\partial \overline{d_c^2}}{\partial \sigma_d} - \frac{\partial \overline{d^2}}{\partial \sigma_d} - 2m_{dc} \frac{\partial m_d}{\partial \sigma_d} - \right. \\ & - 2m_d \frac{\partial m_{dc}}{\partial \sigma_d} + 2 \frac{\partial m_d^2}{\partial \sigma_d} \left. \right) + Q_c (\overline{d_c^2} - \overline{d^2} - 2m_{dc} m_d + 2m_d^2) \frac{\partial \varphi_c}{\partial \sigma_d} + \frac{Q_c}{\sigma_d} (1 - \varphi_c) \times \\ & \left. \left. \times (\overline{d_c^2} - \overline{d^2} - 2m_{dc} m_d + 2m_d^2) \right] \right\}. \end{aligned} \quad (8)$$

Оптимальная пропускная способность  $Q_{opt}$ , при которой возникает минимум функционала (2), выбирается по максимуму гамильтониана (5) при соблюдении условия

$$\tilde{H}[c(\tau), m_d(\tau), \sigma_d(\tau), \lambda(\tau), Q_c(\tau)] = \max \tilde{H}[c(\tau), m_d(\tau), \sigma_d(\tau), \lambda(\tau), Q_c(\tau)]. \quad (9)$$

Из-за сложности правых частей систем уравнений (1) и (6)-(8) получить конечное значение для  $Q_c$  в аналитическом виде не представляется возможным. Поэтому для решения использовали численные методы интегрирования.

Для нахождения с помощью (9) оптимальной программы управления ЦС указанные системы интегрировали совместно, задав граничные условия в начальной и конечной точках. Число граничных условий для обеих точек принимали одинаковым.

Для рассматриваемого случая начальные условия характеризуются концентрацией  $c(\tau_0)$  с дисперсным составом  $m_d(\tau_0), \sigma_d(\tau_0)$  примесей. Параметр  $c(\tau_1)$  задается исходя из состава системы «дизель-эксплуатация-топливо-масло-очистка». Недостающие граничные условия в конце оптимальной траектории находили на основе трансверсальности:

$$\tilde{H} - \lambda_2(\tau_1) = -1, \quad \tilde{H} - \lambda_3(\tau_1) = -1.$$

Гамильтониан для системы (1) и функционала (4) составлен аналогично. После несложных преобразований по рекомендациям [1] он приведен к виду (5). Система сопряженных уравнений (6)-(8) осталась неизменной, но граничные условия в конечной точке интегрирования иные. Поскольку концентрация нерастворимых примесей в конце траектории не известна, незаданность ее компенсировали введением вспомогательной переменной. Величина переменной определяется из условий трансверсальности с учетом преобразований функции

$$\tilde{H} - \lambda(\tau_1) = -1.$$

Таким образом, выбор оптимальных программ управления ЦС сведен к интегрированию систем уравнений (1) и (6)-(8) с двухточечными граничными условиями. Теория решения таких задач почти не разработана. Поэтому для интегрирования предложенных уравнений необходимо создание эффективных алгоритмов. На основе анализа численных методов принят способ «пристрелки» [3]. При его реализации возникли затруднения, обусловленные неустойчивостью систем уравнений (5) и (6)-(8). Даже небольшое изменение начальных параметров  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  существенно влияет на результаты интегрирования, что усложняет вычислительный алгоритм, поскольку необходимо найти путь к решению, избегая области неустойчивости. К тому же значение управляющего воздействия  $Q_c$  на каждом шаге интегрирования корректируется условием (9).

Для хорошего начального приближения параметров задачи в разработанном алгоритме расчета оптимальных программ управления пропускной способностью ЦС сочетали методы многократной «пристрелки» и вариации параметра.

Задавшись неизвестными значениями переменных (параметрами задачи) в начальной и конечной точках траектории находили промежуточное решение систем уравнений, которое обычно не совпадает с заданными граничными условиями. Многократным повторением этого процесса в соответствии с созданным алгоритмом выбирали значение неизвестных переменных, минимизирующих невязку в конечной точке интегрирования.

Использование метода вариации параметра заключается в построении легко решаемой задачи аналогичной структуры с постепенным возвращением к исходной задаче при помощи повторных возмущений. В предложенном алгоритме возмущения краевой задачи (1) и (9) вызывались изменением участка интегрирования. При варьировании условий решение меняется непрерывно, в связи с чем каждый этап обеспечивает хорошее начальное приближение для следующего.

Вычисление начинали с задания вектора исходных приближений и начальной длины участка интегрирования. Для хорошего приближения параметров  $\lambda_{1н}$  принимали от -0,1 до -1,  $\lambda_{2н}$  и  $\lambda_{3н}$  – в диапазоне 1-10. Системы уравнений (1) и (6)-(8) интегрировали численно. Причем на каждом шаге интегрирования по условию (9) вычисляли оптимальное значение пропускной способности ЦС. Максимизацию гамильтониана (5) осуществляли методом «золотого сечения». По результатам расчета для задачи (3) относительно конечной точки интегрирования строили уравнения «сшивания» [3]:

$$\begin{cases} F_1(c) = c(\tau_k) - c_k = 0; \\ F_2(\lambda_2) = \lambda_2(\tau_k) - \lambda_{2к} = 0; \\ F_3(\lambda_3) = \lambda_3(\tau_k) - \lambda_{3к} = 0. \end{cases} \quad (10)$$

При решении задачи (4) в системе (10) первое уравнение замещается выражением

$$F_1(\lambda_1) = \lambda_1(\tau_k) - \lambda_{1к} = 0. \quad (11)$$

Полученную систему нелинейных алгебраических уравнений решали методом Ньютона. Элементы матрицы Якоби вычисляли путем аппроксимации производных на основе конечных разностей. Для этого каждый из параметров задачи поочередно возмущали с интегрированием уравнений систем (1) и (6)-(8). В итоге определяли искомые производные по переменным  $c, m_d, \sigma_d, \lambda_1, \lambda_2$  и  $\lambda_3$  рассматриваемой краевой задачи. После заполнения матрицы Якоби рассчитывали поправки к этим параметрам. Систему снова интегрировали, строили уравнения «сшивания» и вычисляли элементы матрицы Якоби. Решение прекращали, когда невязка интегрируемых функций  $F_i$  становилась меньше заданной погрешности вычислений  $\varepsilon_0$ . Затем интервал интегрирования увеличивали на константу  $\tau_n$  метода вариации параметра. Предыдущее решение использовали в качестве начального приближения для

нового отрезка интегрирования. Цикл повторяли до тех пор, пока не было достигнуто заданное значение уровня загрязненности при решении задачи (3) или не происходила стабилизация минимизированной переменной  $c$  в (4). Если при очередном увеличении интервала интегрирования система (10) с учетом (11) не решалась, константу метода вариации параметра уменьшали вдвое и процедуру повторяли. Отправной точкой служили результаты последнего получившего устойчивое решение цикла.

Алгоритм оптимизации  $Q_c$  для этих режимов реализован в программе [2] с использованием стандартных процедур ЕС ЭВМ. При периодическом сепарировании ММ Deusel-215М во вспомогательном дизеле теплохода «Орша» с оптимизированной переменной подачей  $Q_{var}$  скорость удаления загрязнений была выше, чем при очистке в любом другом режиме (рисунок 1). По мере уменьшения  $m_d$  и  $\sigma_d$  вследствие интенсивного удаления крупных частиц значение  $Q_{opt}$  понижается.

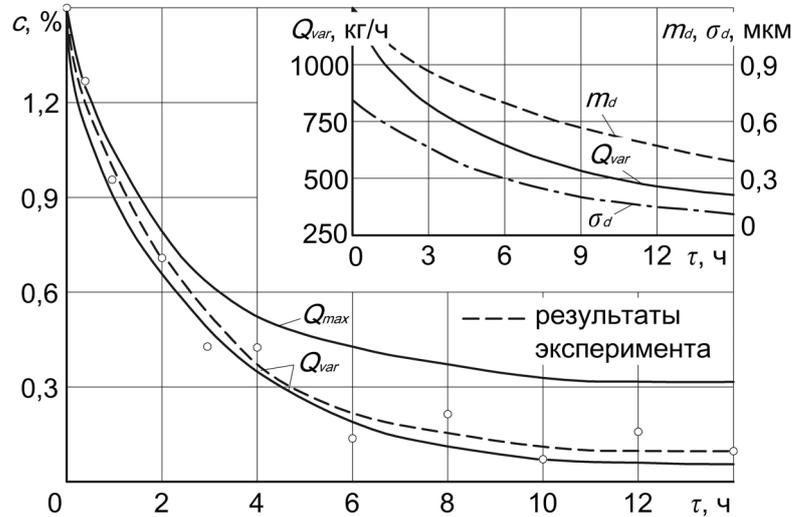


Рисунок 1 – Кинетика очистки ММ в дизеле 625МТВН-40 сепарированием

Сепарирование с оптимизированной пропускной способностью  $Q_{var}$  повышает полноту очистки масла. Минимальный уровень нерастворимых примесей в ММ при этом достигается за более короткий срок. Расчетные и экспериментальные кинетические кривые  $c(\tau)$  почти совмещаются (рисунок 1).

При исследовании второго способа подключения ЦС с постоянным загрязнением ММ и непрерывным сепарированием выявлено, что пропускная способность сепаратора  $Q_{opt}$  зависит главным образом от его конструктивно-эксплуатационных характеристик, диспергирующих свойств и температуры масла.

При исследовании второго способа подключения ЦС с постоянным загрязнением ММ и непрерывным сепарированием выявлено, что пропускная способность сепаратора  $Q_{opt}$  зависит главным образом от его конструктивно-эксплуатационных характеристик, диспергирующих свойств и температуры масла.

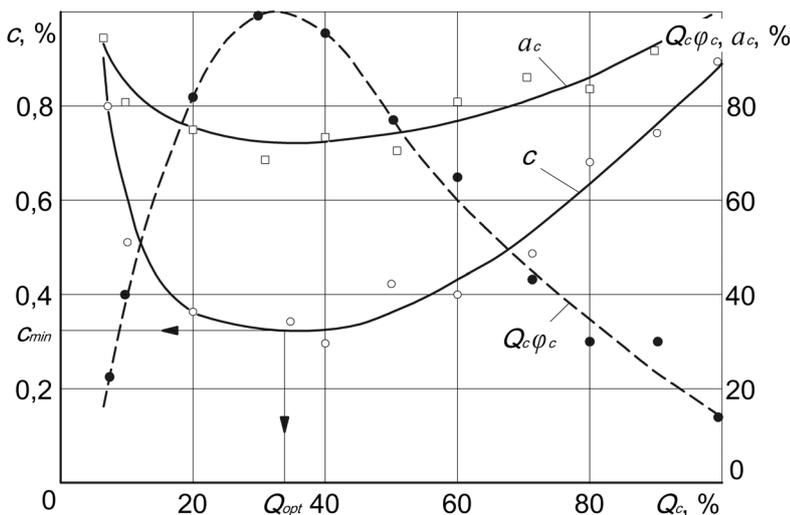


Рисунок 2 – Зависимость очистки и загрязнения ММ от подачи его в ЦС

максимальна, концентрация НРБ примесей  $c$  и скорость старения масла  $a_c$  минимальны (рисунок 2).

Минимизация  $c$ , если  $a_c = \text{Const}$ ,  $m_d$ ,  $\sigma_d$  переменны, определяет как варьировать  $Q_c$  для достижения  $c_{min}$  и  $m_{dmin}$  в наименьший период. В этом случае оптимизация осуществля-

Если ЦС настроить на минимальную подачу, масло выходит хорошо очищенным. Однако при этом обрабатывается малая часть масла, находящегося в сточно-циркуляционной цистерне дизеля. При очистке  $Q_{max}$  наблюдается высокая загрязненность ММ на выходе из сепаратора, так как единица объема масла меньше времени подвергается воздействию центробежного поля. Центробежная обработка значительной доли масла, содержащегося в цистерне, в этом случае не способствует удалению из него большей массы загрязнений. Сепарирование в режиме  $Q_{opt}$  интенсифицирует очистку ММ:  $Q_c \phi_c$

ется с применением обеих программ.

Разработанная методика оптимизации с использованием алгоритма и программы [2] апробирована для мощностного ряда СДВС, эксплуатируемых на морском флоте. Расчет выполнен для непрерывного режима сепарирования с учетом тонкости отсева судовых ЦС и их паспортной пропускной способности  $Q_n$  при вязкости  $2^\circ\text{ВУ}$ . Рассматривали масла с высокими ( $m_d = 0,4$  мкм), средними ( $m_d = 0,8$  мкм) и низкими ( $m_d = 1,2$  мкм) диспергирующими показателями. При этом во внимание принимали скорость загрязнения  $MM$  и вместимость системы смазки  $G_0$ .

Для выбора  $Q_{opt}$  в эксплуатационных условиях результаты оптимизации аппроксимированы позиномом

$$Q_{opt} = 1108 \frac{m_d^{1,21} Q_n^{0,568} \sigma_d^{0,681} G_0^{0,252} a_c^{0,0509}}{\Delta^{1,07} c^{0,0398}}, \quad (12)$$

где  $\Delta$  – номинальная тонкость отсева сепаратора.

С целью оперативного управления состоянием  $MM$  на судах уравнение (12) номографировано. Номограмма дает возможность при известных параметрах  $CC$ , масла и ЦС определить  $Q_{opt}$ . Так как пропускную способность  $Q_n$  и тонкость отсева  $\Delta$  фирмы-изготовителя ЦС нормируют не одинаково, выбор  $Q$  по зависимости (12) может повлечь за собой значительную погрешность.

Анализ полученных графических зависимостей показывает, что наибольшее, причем противоположное влияние на  $Q_{opt}$  оказывают тонкость отсева ЦС и дисперсный состав загрязнителя. Действие  $Q_n$ ,  $\sigma_d$  и  $G_0$  на параметр оптимизации равноценно. Менее всего  $Q_{opt}$  подвержено воздействию  $a_c$  и  $c$ . Причем увеличение всех факторов, кроме  $\Delta$  и  $c$ , способствует росту функции отклика.

Для условий, когда паспортные разделяющая и пропускная способности ЦС заданы соответственно не при вязкости  $2^\circ\text{ВУ}$  и эффективной плотности  $\rho_{эф}$  загрязнений  $30-50 \text{ кг/м}^3$ ,  $Q_{opt}$  целесообразно выбирать с помощью комплекса конструктивных и эксплуатационных параметров маслоочистителя и режимов сепарирования:

$$Q_{opt} = 634,2 A_{cc} \left[ \frac{\rho_{эф} \omega^2 z_c (r_{max}^3 - r_{min}^3)}{\mu_M \operatorname{tg} \alpha} \right]^{0,568}, \quad (13)$$

где  $A_{cc}$  – учитывает особенности загрязнения  $MM$  и влияние  $CC$  [2];

$\omega$  – угловая скорость ротора ЦС;

$z_c$  – число его тарелок;

$r_{max}, r_{min}$  – максимальный и минимальный радиус тарелок;

$\alpha$  – конусность тарелок;

$\mu_M$  – вязкость масла.

Анализ результатов оптимизации показал, что  $Q_{opt}$  для используемых на судах  $MM$  обычно составляет  $(0,1...0,3)Q_n$ , при значительном обводнении масла  $Q_{opt} = (0,4 - 0,6Q_n)$ . Данная подача допустима при очистке свежего масла.

Сепарирование следует вести с подогревом  $MM$  до  $70-85^\circ\text{С}$ . Верхний предел соответствует маслам с высокой термоокислительной стабильностью.

**Выводы**

1 На базе системного подхода с использованием принципа максимума – основного метода неклассического вариационного исчисления разработана методика повышения эффективности маслоочистительного комплекса и осуществлена оптимизация режимов его функционирования. С помощью данного метода задача оптимизации сведена к интегрированию систем уравнений с двухточечными граничными условиями. Алгоритм решения сформулированной при этом краевой задачи построен на сочетании методов многократной пристрелки и вариации параметра.

2 Режимы работы ЦС оптимизированы с использованием системы дифференциальных уравнений, описывающих посредством  $c(\tau), m_d(\tau)$  и  $\sigma_d(\tau)$  кинетику массо-дисперсного обмена  $НРБ$  примесей в  $CC$  двигателей. Особенности уравнений позволили представить оп-

тимизацию минимизацией функционала. Для этой цели по дифференциальным уравнениям и вспомогательным переменным  $\lambda_i$  в соответствии с общей схемой решения задачи управления составлен гамильтониан быстрогодействия и из условия его максимума показаны пути определения  $Q_{opt}$ .

3 Разработан универсальный алгоритм расчета и выбора оптимальных режимов сепарирования, который может быть использован в системах маслоочистки любых ДВС. Для оперативного управления ЦС в эксплуатационных условиях факторное пространство аппроксимировано позиномом на базе данных вычислительного эксперимента. Регрессионная модель оптимального байпасного сепарирования ММ номографирована.

4 Новизна разработанных моделей оптимального управления ЦС заключается:

- в универсальности решения. Оно пригодно как для стационарных, так и переходных режимов накопления и изменения дисперсного состава примесей в ММ;
- в учете влияния на  $Q_{opt}$  не только концентрации примесей  $c$ , но и через показатели  $m_d$  и  $\sigma_d$  их дисперсности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кича, Г.П. Оптимизация режимов центробежного сепарирования циркуляционного масла дизелей / Г.П. Кича, А.В. Надежкин // Исследование и методы повышения эффективности технической эксплуатации судовых энергетических установок. -Новосибирск, 1984. - С. 36-40.

2 Кича, Г.П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин. -Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. -372 с.

3 Математическая теория оптимальных процессов / Л.С. Понтрягин, В.Г. Болтянский, Р.В. Гамкрелидзе, М.Ф. Мищенко. -М.: Наука, 1976. -392 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *моторное масло, центробежная очистка масла, оптимальная пропускная способность сепаратора*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Кича Геннадий Петрович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
 Надежкин Андрей Вениаминович, канд. тех. наук ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
 Пак Николай Каптыгиевич, 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»*

## **ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПРИМЕНЯЕМЫХ ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И УГАРА МОТОРНОГО МАСЛА НА ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ЕГО СТАРЕНИЯ В ДИЗЕЛЕ С ВЫСОКИМ НАДДУВОМ**

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

**Г.А. Гаук**

**INFLUENCE OF QUALITY OF USED LUBRICANTS AND BURNING LUBRICATING OIL ON MAIN CURRENTS AND INTENSITY OF ITS AGEING IN TURBOCHAGING ENGINE**  
 «Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoy»  
 G.A. Gauk

Results of motor tests of a diesel engine VASA20 with different burning oil are resulted. Influence of burning unification oil on intensity of its ageing and a limiting condition on various is considered on-boards. It is shown as burning oil and load diesel engine intensifies gumming and oxidation degree lubricating material, accelerates operation of additives and its pollution that causes decrease in service life of oil. At this burning lubricating oil 1,5-2,5 g/(kW·h), circulating oil and a diesel engine function in most of good conditions.

*Keywords: burning lubricating oil, ageing oil, intensity pollution, operation of additives*

Приведены результаты моторных испытаний дизеля VASA20 с разным угаром масла. Рассмотрено влияние угара унифицированного моторного масла на интенсивность его старения по различным направлениям и предельное состояние. Показаны интенсификация смолообразования и степени окисления смазочного материала, ускорение срабатывания присадок и его загрязнения при уменьшении угара и увеличении форсировки дизеля наддувом. Обоснован угар 1,5-2,5 г/(кВт·ч), при котором

циркуляционное масло и дизель функционируют в самых благоприятных условиях.

Повышение экономичности судовых тронковых дизелей по расходу моторного масла (ММ) является важной составной частью решения проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на морском транспорте. Большой интерес представляет исследование влияния угара масла на его старение в дизелях с высоким наддувом, работающих на высоковязких топливах.

Моделирование этого процесса осуществляли на дизеле VASA20 (6ЧН20/28) ( $P_e = 1000$  кВт,  $n = 1000$  мин<sup>-1</sup>,  $p_{me} = 2,4$  МПа). Режимы нагружения дизеля соответствовали рекомендациям [1]. В качестве смазочного материала применяли унифицированные масла групп Г-Д (ГОСТ 12337-84). Очистку ММ осуществляли полнопоточным фильтром с использованием фильтрующих элементов Н-15 с номинальной тонкостью отсева 35-40 мкм. Масса масла в системе смазки составляла 480 кг.

Взятие проб масла на анализ и его долив для компенсации угара осуществляли через 25 ч работы дизеля. Продолжительность этапа испытаний, при котором сохранялся постоянный угар масла, составляла 250 ч. Регулирование угара осуществляли увеличением маслосъемного действия поршневых колец, изменением конструкции и величины рабочих зазоров деталей ЦПГ. Угар масла контролировали весовым методом.

Состояние ММ  $c_i$  оценивали по концентрации нерастворимых продуктов (НРП), содержание которых в масле определяли методом центрифугирования (ГОСТ 20684-95). Кислотно-основные свойства  $K$  и  $Щ$  работающего масла контролировали по ГОСТ 11362-96. Степень (глубину) его окисления  $CO$  определяли через отношение интегральной интенсивности поглощения карбонилсодержащих соединений –  $C=O$  к группе –  $C=C$  – ароматических ядер. Содержание смол  $См$  находили методом диализа и хроматографии [2].

Скорости старения ММ по рассмотренным направлениям определяли по результатам анализа проб масла, взятых в течение каждого этапа испытаний. Обработка кинетических кривых старения масла осуществлялась по методике [1] с использованием методов наименьших квадратов. Переход к удельным показателям  $A_i$  велся через параметры цилиндра и «время-поверхность» контакта рабочих газов с масляной пленкой на втулке цилиндра [3].

В эксперименте использовали некомпозиционный план второго порядка [4]. Уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1.

Диапазон варьирования  $p_{me}$  в интервале 0,5–2,0 МПа выбран с целью полного охвата современных форсированных дизелей средней и повышенной частоты вращения, эксплуатируемых на Дальневосточном бассейне. Дизель работал по нагрузочной характеристике. Режимы работы выбирали согласно рекомендациям [1], так чтобы математическое ожидание нагрузки (мощности) соответствовали  $p_{me} = 0,5; 1,25$  и  $2,0$  МПа.

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Фактор	Кодовое обозначение	Интервал варьирования	Уровень факторов		
			нижний (-1)	основной (0)	верхний (+1)
Форсировка дизеля $p_{me}$ на режиме испытаний, МПа	$x_1$	0,75	0,5	1,25	2
Качество масла $M$ , ранг	$x_2$	1,00	-1	0	1
Качество топлива $K_T$ , отн. ед.	$x_3$	0,80	0,2	1	1,8
Удельный угар масла $g_y$ , г/(кВт·ч)	$x_4$	1,50	1	2,5	4

Рангом (0) закодировано моторное масло М14Д<sub>2</sub>(ЦЛ20). Маслам М14Г<sub>2</sub>(ЦС) и М14Д<sub>2</sub>(ЦЛ30) присвоены соответственно ранги (-1) и (1). Качество применяемого топлива задавалось показателем  $K_T$  согласно [3].

Расход масла на угар в эксперименте задавался удельным показателем  $g_y$ , г/(кВт·ч), на средней мощности каждого этапа. Он значительно влияет на интенсивность старения смазочного материала.

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 [4]. Для вычисления

дисперсии воспроизводимости и адекватности находили сумму квадратов отклонений расчетных значений  $\hat{y}$  от экспериментальных у соответственно в опытах 9, 18, 27 и во всех точках плана (таблица 3).

*Таблица 2 – Матрица планирования эксперимента*

№	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$A_{щ}$	$A_K$	$A_{НПП}$	$A_{СМ}$	$A_{СО}$
1	1	1	1	0	0	117,6	156,5	131,0	74,7	183,3
2	1	1	-1	0	0	30,9	112,1	123,3	17,3	424,9
3	1	-1	1	0	0	95,2	49,4	35,8	159,5	321,5
4	1	-1	-1	0	0	39,1	60,6	133,2	79,7	186,9
5	1	0	0	1	1	62,8	147,0	256,6	513,8	263,8
6	1	0	0	1	-1	21,1	166,5	214,3	252,1	30,1
7	1	0	0	-1	1	67,3	160,2	283,2	171,1	99,5
8	1	0	0	-1	-1	14,4	59,4	93,8	421,2	57,6
9	1	0	0	0	0	47,3	75,3	103,8	167,0	103,4
10	1	1	0	0	1	151,4	273,3	219,9	198,6	471,9
11	1	1	0	0	-1	25,7	98,1	104,0	208,5	120,5
12	1	-1	0	0	1	110,4	129,2	267,6	315,4	315,0
13	1	-1	0	0	-1	65,0	121,0	11,2	32,4	213,6
14	1	0	1	1	0	54,0	87,7	182,3	86,8	195,1
15	1	0	1	-1	0	55,4	88,4	95,8	125,4	31,1
16	1	0	-1	1	0	12,8	127,8	216,4	417,6	82,3
17	1	0	-1	-1	0	23,1	47,3	237,9	85,6	246,4
18	1	0	0	0	0	52,4	83,9	115,7	185,2	114,7
19	1	1	0	1	0	70,2	183,7	192,2	413,0	190,8
20	1	1	0	-1	0	24,7	228,0	76,1	106,1	246,7
21	1	-1	0	1	0	18,7	138,1	62,6	100,1	181,7
22	1	-1	0	-1	0	39,9	66,6	125,0	206,7	73,8
23	1	0	1	0	1	142,1	130,5	184,2	207,0	364,0
24	1	0	1	0	-1	70,3	56,0	215,1	10,9	15,9
25	1	0	-1	0	1	47,1	77,4	355,0	142,5	212,0
26	1	0	-1	0	-1	20,0	59,6	107,4	266,8	292,2
27	1	0	0	0	0	47,4	75,4	104,0	167,4	103,7

После приведения факторов к натуральному виду получили модели старения в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 A_{щ} &= 57,7 + 114,6p_{me} - 5,8M + 98,1K_T - 21g_y + 21p_{me}M + 20,9p_{me}K_T + 15,4p_{me}g_y - \\
 &\quad - 13MK_T + 11,5Mg_y - 10K_Tg_y + 25,3p_{me}^2 + 8,42M^2 - 45,5K_T^2 + 7,39g_y^2; \\
 A_K &= 115 - 131p_{me} - 32,7M + 60,3K_T - 47,3g_y + 32,7p_{me}M - 58,7p_{me}K_T + 29p_{me}g_y - \\
 &\quad - 24MK_T + 10,8Mg_y - 25,2K_Tg_y + 67,9p_{me}^2 - 20,2M^2 + 49,1K_T^2 + 12,3g_y^2; \\
 A_{НПП} &= -27,2 + 216p_{me} - 12,3M - 88K_T - 39,1g_y + 52,4p_{me}M - 59,7p_{me}K_T - 35,1p_{me}g_y + \\
 &\quad + 36,4MK_T - 45,2Mg_y + 28,6K_Tg_y + 66,1p_{me}^2 + 39,1M^2 + 54,2K_T^2 + 33,3g_y^2; \\
 A_{СМ} &= 355 + 418p_{me} - 193M - 639K_T - 178g_y + 102p_{me}M + 132p_{me}K_T - 70,8p_{me}g_y - \\
 &\quad - 101,6MK_T + 49,6Mg_y + 110K_Tg_y - 129p_{me}^2 - 91,3K_M^2 + 133K_T^2 + 37,2g_y^2; \\
 A_{СО} &= 403 - 467p_{me} - 221M + 164K_T - 161g_y - 95p_{me}M - 80,8p_{me}K_T + 43,6p_{me}g_y + \\
 &\quad + 127,5MK_T + 73,7Mg_y + 53,3K_Tg_y + 189p_{me}^2 + 61,1M^2 - 82,7K_T^2 + 23,7g_y^2.
 \end{aligned}$$

Анализ уравнений по различным направлениям старения ММ показал, что наибольшее влияние на глубину окисления оказывает качество применяемого масла. Фактор  $p_{me}$  играет значительную роль при повышении кислотности и степени окисления масла. Качество при-

меняемого топлива оказывает существенное влияние на все направления старения масла, особенно его загрязнение *НПП*. Зависимость  $A_i(g_y)$  специфична. Для нее характерно наличие зоны угара, когда интенсивность старения ММ минимальна.

Таблица 3 – Результаты обработки матрицы планирования эксперимента

$A_i/b_i$	$A_{щ}$	$A_K$	$A_{НПП}$	$A_{СМ}$	$A_{СО}$
$b_0$	49,80	79,8	110,0	176	109,0
$b_1$	6,27	39,9	17,1	37,4	27,1
$b_2$	36,10	11,4	-22,7	-42,8	-29,1
$b_3$	7,21	17,5	19,3	53,8	24,3
$b_4$	37,40	37,4	81,0	41,9	96,3
$b_{11}$	14,30	38,4	-37,4	-73,1	107,0
$b_{12}$	15,80	24,6	39,4	76,8	-71,4
$b_{13}$	12,60	-35,3	35,9	79,6	-48,6
$b_{14}$	17,30	32,6	-39,4	-79,4	48,9
$b_{22}$	8,40	-20,2	39,1	-91,3	61,1
$b_{23}$	-10,40	-19,1	29,1	-81,3	102,0
$b_{24}$	17,00	16,1	-67,4	74,1	110,0
$b_{33}$	-29,10	31,4	34,7	85,4	-52,9
$b_{34}$	-11,90	-30,1	-34,1	131,0	63,7
$b_{44}$	16,40	27,3	74,2	82,8	52,7

где  $A_i$  – удельная скорость старения ММ по  $i$ -ому направлению, приходящаяся на единицу поверхности ометаемой поршнем цилиндрической втулки с учетом времени контакта газов с масляной пленкой.

Предельное содержание присадок, нерастворимых примесей и других продуктов старения в масле определялось из условия стабилизации их содержания ММ при работе в дизеле [3]. Анализ состояния ММ к моменту стабилизации его показателей при работе в дизеле VASA20 с разным угаром показал наличие экстремума у большинства зависимостей  $c_{i\infty}(g_y)$ . Максимальное значение щелочности, минимальное – кислотности, концентрации *НПП*, продуктов глубокого окисления, смол приходилось на угар 1,5-2,5 г/(кВт·ч). По мере снижения угара со значения 2,5 до 0,7 г/(кВт·ч) наиболее интенсивно падала щелочность, возрастали смолообразование, степень окисления и кислотность масла (рисунок). Такое явление объясняется падением маслообмена на участке  $g_y = 2,5-0,7$  г/(кВт·ч). При этом угар снижается интенсивней, чем уменьшается удельная скорость старения масла.

При увеличении угара масла от оптимального значения до величины 4 г/(кВт·ч) возрастающий маслообмен не может компенсировать ухудшение его состояния по всем направлениям старения. Поэтому показатели  $c_{i\infty}$ ,  $Щ_{\infty}$ ,  $K_{\infty}$  с увеличением угара ухудшаются. При возрастании  $g_y$  особенно заметно это наблюдается по повышению степени окисления масла СО, загрязнения его *НПП*, уменьшению щелочности  $Щ$ . Показатели  $См$  и  $K$  при этом незначительно изменяются.

Сопоставление данных моделирования с экспериментальными значениями показателей  $c_{i\infty}$  (рисунок) удовлетворительное. Максимальное расхождение их не превышает 12%. Экспериментальные значения  $c_{i\infty}$  фиксировались натурным определением, если наблюдалась их стабилизация в течение этапа испытаний. При отсутствии стабилизации показатели рассчитывались по выполненным замерам с учетом, что процесс старения идентифицируется экспонентами.

Обобщая результаты моторных испытаний в дизеле VASA20 различных ММ можно отметить, что масла группы  $\Gamma_2$  не могут быть рекомендованы для эксплуатации в дизелях данной форсировки. Масла М14Г<sub>2</sub>(ЦС) со щелочностью 9-10 мг КОН/г способны обеспечивать надежную и долговечную эксплуатацию тронковых дизелей с низким и средним наддувом при работе на дистиллятных топливах. Уровень моторных и нейтрализующих свойств масел М14Д<sub>2</sub>(ЦЛ20) и М14Д<sub>2</sub>(ЦЛ30) достаточен для долгорботающего режима их использования в

дизелях с высоким наддувом, эксплуатируемых на топливах глубокой переработки нефти, имеющих  $K_T = 1,2-1,8$ .

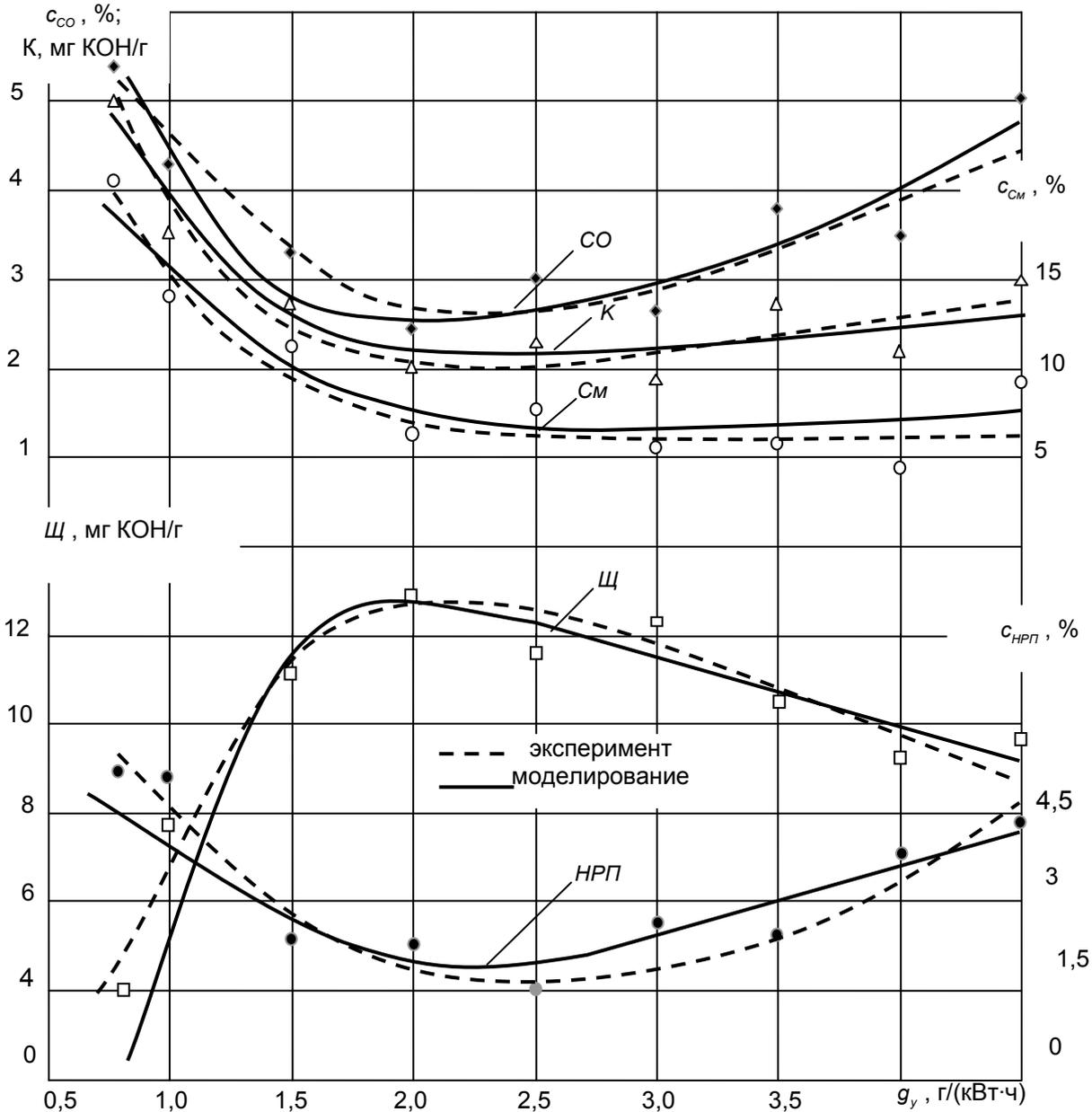


Рисунок – Влияние угара масла М10Д<sub>2</sub>(ЦЛ20) на его старение в дизеле VASA 20 при работе на топливе Ф-5

Моторным экспериментом выявлено влияние угара ММ на основные направления его старения. Уменьшение  $g_y$  ниже 2 г/(кВт·ч) интенсифицирует смолообразование и термоокислительную деструкцию углеводородов масла, увеличивает глубину его окисления, идентифицируемую по повышению концентрации продуктов карбонильной группы. При этом растет содержание в масле грубодисперсных  $HPP$ , что способствует интенсификации изнашивания деталей ЦПГ.

На основе проведенного экспериментального моделирования получены уравнения, по которым в тронковом дизеле рассчитывается удельная  $A_i$  и общая  $a_i$  скорость старения ММ в зависимости от его форсировки, качества применяемых горюче-смазочных материалов и угара масла. Зная скорость старения ММ, можно прогнозировать по известным кинетическим уравнениям экспоненциального типа [1] его состояние в функции от времени работы.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Перминов, Б.Н. Научно-технические основы эффективного маслоиспользования в судовых тронковых дизелях: монография / Б.Н. Перминов. - Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2005. - 378 с.
- 2 Гаук, Г.А. Влияние угара моторного масла на интенсивность его старения в судовом дизеле / Г.А. Гаук // Проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№1. -С. 165-170.
- 3 Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. -М.: Машиностроение, 1981. -184 с.
- 4 Данилова, Е.В. Комплексные методы исследования старения масла в дизелях / Е.В. Данилова, Д.И. Турбина, В.А. Сомов // Химия и технология топлив и масел. -1976. -№5. -С. 42-44.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** угар масла, старение масла, интенсификация загрязнения, срабатывание присадок  
**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»

**РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ СИСТЕМ ТРАНСПОРТИРОВКИ ТЕПЛА**

ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

**Г.В. Кузнецов, В.Ю. Половников**

**CALCULATION OF THERMAL LOSS FOR SYSTEMS OF TRANSPORTATION OF HEAT**

«Tomsk polytechnic university»

G.V. Kuznetsov, V.Yu. Polovnikov

The interfaced model of heat transfer and results of calculation of thermal loss for two-trumpet underground channel of heat conductor was presented, and also adequacy and prospects-nost of the offered approach was shown.

*Keywords: mathematical modeling, heat pipeline, thermal loss*

Представлена сопряженная модель теплопереноса и результаты расчета тепловых потерь для двухтрубного подземного канального теплопровода, а также показана адекватность и перспективность предлагаемого подхода.

Определение тепловых потерь теплопроводов является неотъемлемой частью работ при анализе эффективности и разработке рекомендаций по усовершенствованию систем транспортировки тепла. Разработка и анализ способов оценки тепловых режимов, а, следовательно, и тепловых потерь, теплопроводов входит в перечень приоритетных направлений развития науки и техники России «Энергетика и энергосбережение» и соответствует критической технологии «Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии».

Совершенствование используемой в настоящее время [1] и разработка новых технологий определения тепловых потерь теплопроводов является актуальной задачей при разработке теоретических основ создания энергосберегающих систем транспортировки тепла.

Целью работы является разработка альтернативного способа расчета тепловых потерь теплопровода с использованием кондуктивно-конвективной модели теплопереноса.

Рассматривается широко распространенная в РФ конфигурация теплопровода подземной прокладки [2] – непроходной железобетонный канал и трубопроводы (подающий и обратный), изолированные минеральной ватой и защитным покровным слоем.

В настоящее время при проведении исследований тепловых режимов подобных объектов используются общие балансовые соотношения [1], не учитывающие многие особенности взаимодействия теплопроводов с окружающей средой и реальные механизмы теплообмена, протекающие в рассматриваемых системах. Основная используемая на практике методика расчета тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей [1] не учитывает разнородность и нестационарность процессов теплообмена, наличие фазовых переходов, изменение условий эксплуатации и условий взаимодействия теплопроводов с окружающей средой.

По этим причинам целесообразным является разработка новых моделей и подходов к анализу тепловых режимов систем транспортировки тепла с использованием сопряженных моделей переноса [3]. Кроме того, в соответствии с действующей методикой [1], термическое сопротивление грунта рассчитывается с использованием приближенного соотношения, представляющего собой зависимость между некоторыми константами, геометрическими характеристиками теплопровода и коэффициентом теплопроводности грунта. Подобный подход к оценке термического сопротивления грунта хорошо зарекомендовал себя в практических расчетах, но, однако не вполне соответствует современному уровню знаний о процессах теплопереноса.

При постановке задачи приняты следующие основные допущения:

- 1 Не рассматриваются процессы переноса тепла в теплоносителе и металлической стенке трубы;
- 2 Теплофизические характеристики материалов являются постоянными и известными величинами;
- 3 Не учитывается наличие фазовых переходов в рассматриваемой области решения;
- 4 Воздух, заполняющий полость канала, считается несжимаемым и удовлетворяющим приближению Буссинеска [4].

Математическую модель переноса тепла для двухтрубного подземного канального теплопровода можно описать в следующем образом:

– в воздухе канального пространства уравнениями энергии, движения и неразрывности:

$$c\rho \left( w_x \frac{\partial T_4}{\partial x} + w_y \frac{\partial T_4}{\partial y} \right) = \lambda \left( \frac{\partial^2 T_4}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_4}{\partial y^2} \right); \quad (1)$$

$$w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} \right); \quad (2)$$

$$w_x \frac{\partial w_y}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 w_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_y}{\partial y^2} \right) + g\beta(T_4 - T_1); \quad (3)$$

$$\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} = 0; \quad (4)$$

– в тепловой изоляции и покровном слое для подающего и обратного трубопроводов уравнениями теплопроводности в цилиндрической системе координат:

$$\frac{\partial^2 T_{i,n}}{\partial x^2} + \frac{1}{x} \frac{\partial T_{i,n}}{\partial x} + \frac{1}{x^2} \frac{\partial^2 T_{i,n}}{\partial \Theta^2} = 0, \quad i = 2, 3; \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 T_{i,o}}{\partial x^2} + \frac{1}{x} \frac{\partial T_{i,o}}{\partial x} + \frac{1}{x^2} \frac{\partial^2 T_{i,o}}{\partial \Theta^2} = 0, \quad i = 2, 3; \quad (6)$$

– в стенах канала и грунте уравнениями теплопроводности в декартовой системе координат

$$\frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_i}{\partial y^2} = 0, \quad i = 5, 6. \quad (7)$$

При постановке задачи принималось, что на внутренней поверхности слоя тепловой изоляции подающего и обратного трубопроводов поддерживаются постоянные температуры, равные температурам теплоносителя в трубах:

$$T_{2,n} = \text{Const}, \quad (8)$$

$$T_{2,o} = \text{Const}. \quad (9)$$

На границе раздела «грунт-окружающая среда» осуществляются условия конвективного теплообмена

$$-\lambda_6 \frac{\partial T_6}{\partial y} = \alpha(T_6 - T_1). \quad (10)$$

В местах соприкосновения слоев реализуются условия идеального теплового контакта:

$$\lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial x} = \lambda_j \frac{\partial T_j}{\partial x}; \quad T_i = T_j; \quad i, j = 4, 5, 6; \quad i \neq j; \quad (11)$$

$$\lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial y} = \lambda_j \frac{\partial T_j}{\partial y}; T_i = T_j; i, j = 4, 5, 6; i \neq j; \quad (12)$$

$$\lambda_i \frac{\partial T_{i,n}}{\partial x} = \lambda_j \frac{\partial T_{j,n}}{\partial x}; T_i = T_j; i, j = 2, 3; i \neq j; \quad (13)$$

$$\lambda_i \frac{\partial T_{i,n}}{\partial y} = \lambda_j \frac{\partial T_{j,n}}{\partial y}; T_i = T_j; i, j = 2, 3; i \neq j; \quad (14)$$

$$\lambda_i \frac{\partial T_{i,o}}{\partial x} = \lambda_j \frac{\partial T_{j,o}}{\partial x}; T_i = T_j; i, j = 2, 3; i \neq j; \quad (15)$$

$$\lambda_i \frac{\partial T_{i,o}}{\partial y} = \lambda_j \frac{\partial T_{j,o}}{\partial y}; T_i = T_j; i, j = 2, 3; i \neq j. \quad (16)$$

Для тепловой изоляции и покровного слоя подающего и обратного трубопроводов выполняются условия симметрии:

$$\frac{\partial T_{i,n}}{\partial \Theta} = 0; i = 2, 3; \quad (17)$$

$$\frac{\partial T_{i,o}}{\partial \Theta} = 0; i = 2, 3. \quad (18)$$

На достаточно большом расстоянии от теплопровода градиенты температур в грунте равны нулю:

$$\frac{\partial T_6}{\partial x} = 0; x \rightarrow \pm\infty; \frac{\partial T_6}{\partial y} = 0; y \rightarrow -\infty. \quad (19)$$

Скорость движения воздуха, находящегося в полости канала, на внешней поверхности покровного слоя и внутренней поверхности стенок канала равна нулю (условия прилипания)

$$w_x = w_y = 0. \quad (20)$$

В выражениях (1)-(20) обозначены:

$T$  – температура, К;

$x, y, \Theta$  – координаты;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

$c$  – теплоемкость, Дж/(кг·К);

$\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;

$p$  – давление, Па;

$w_x, w_y$  – составляющие скорости в проекции на оси координат, м/с;

$\nu$  – кинематическая вязкость, м<sup>2</sup>/с;

$g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$\beta$  – коэффициент температурного расширения, К<sup>-1</sup>;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Индексы: 1-окружающая среда; 2-слой тепловой изоляции; 3-покровный слой; 4-воздушная полость канала теплопровода; 5-железобетонные стенки канала; 6-грунт; п-подающий трубопровод; о-обратный трубопровод.

Рассматриваемая задача (1)-(20) решена методом конечных элементов [5] с использованием аппроксимации Галеркина. Исследования проводились на неравномерной конечно-элементной сетке, состоящей из 19484 элементов, количество которых выбиралось из условий сходимости решения.

Исследования проводились для трубопроводов с диаметрами условного прохода 600 мм, изолированных минеральной ватой (толщина 70 мм) [2]. Покровный слой – песчано-цементная штукатурка по каркасу из металлической сетки толщиной 20 мм [2]. Рассматривался типичный для тепловых сетей РФ сборный железобетонный канал марки КЛс210-120 [2] с толщиной стенок 135 мм. Полость канала занимал воздух с относительной влажностью 100%. Расстояние от поверхности грунта до верхней части канала составляло 1 метр. Температуры внутренних поверхностей слоев тепловой изоляции подающего и обратного трубопроводов равнялись  $T_{2,n} = 363$  К и  $T_{2,o} = 323$  К и соответствовали среднегодовым температурам теплоносителя в подающих и обратных трубопроводах водяных тепловых сетей

при их работе по одному из основных температурных графиков [1] – 150/70 °С. Температура окружающей среды принималась равной средней температуре воздуха за отопительный период в г. Томск [6] –  $T_1 = 264,2$  К. Коэффициент теплоотдачи от грунта к окружающей среде принимался равным  $\alpha = 15$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

В таблице приведены значения [7] теплофизических характеристик тепловой изоляции, покровного слоя, стенок канала и грунта.

*Таблица – Теплофизические характеристики материалов*

Материал	Тепловая изоляция	Покровный слой	Стенка канала	Грунт
$\lambda$ , Вт/(м·К)	0,059	0,87	1,54	1,3
$c$ , Дж/(кг·К)	670	837	887	959
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	206	1750	2200	1700

Обоснованность и достоверность результатов исследований следует из проведенных проверок используемых методов на сходимость и устойчивость решений на множестве сеток, выполнения условий баланса энергии на границах области расчета, а также подтверждается проведенной ранее проверкой [8] адекватности предложенного подхода к анализу тепловых режимов систем транспортировки тепла.

В результате расчета тепловых потерь, проведенного с использованием математической модели (1)-(20), было установлено, что для рассматриваемого в данной работе случая тепловые потери теплопровода составляют 174,16 Вт/м.

Так же были выполнены расчеты тепловых потерь с использованием действующих правил по проектированию тепловой защиты трубопроводов тепловых сетей [1] для конфигурации теплопровода соответствующей конфигурации рассматриваемого в настоящей работе теплопровода (158,09 Вт/м).

Сопоставление результатов численного анализа тепловых потерь с использованием модели (1)-(20) с результатами расчетов, произведенных по нормативной методике [1], свидетельствует о том, что расхождение в результатах составляет величину 9,23%, что в целом подтверждает адекватность предлагаемой в данной работе математической модели.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о перспективности применения разработанной модели и методики расчета тепловых потерь систем транспортировки тепла при проведении энергетических обследований тепловых сетей.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. (ГК № П1445 от 03.09.09 г.) и при частичной поддержке гранта Президента РФ (проект № МК-1284.2011.8).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. - М.: Госстрой России, 2001. -42 с.
- 2 Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей / под ред. А.А. Николаева. -Курган: Интеграл, 2010. -357 с.
- 3 Лыков, А.В. Теплообмен: справочник / А.В. Лыков. -М.: Энергия, 1978. -479 с.
- 4 Джалурия, Й. Естественная конвекция: тепло- и массообмен / Й. Джалурия. -М.: Мир, 1983. -400 с.
- 5 Самарский, А.А. Численные методы математической физики / А.А. Самарский, А.Н. Гулин. -М.: Науч. мир, 2000. -316 с.
- 6 Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / Е.Я. Соколов. -М.: Изд-во МЭИ, 2001. - 472 с.
- 7 Гува, А.Я. Краткий теплофизический справочник / А.Я. Гува. -Новосибирск: Сибвузиздат, 2002. -300 с.
- 8 Половников, В.Ю. Анализ тепловых режимов однотрубных теплопроводов с учетом конвективного движения воздуха в полости канала / В.Ю. Половников // Изв. Том. политехн. ун-та. -2010. -Т.317, №4. -С. 33-38.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** математическое моделирование, теплопровод, тепловые потери  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Кузнецов Гений Владимирович, докт. физ.-мат. наук, профессор ГОУ ВПО «НИ ТПУ»  
 Половников Вячеслав Юрьевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НИ ТПУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, ГОУ ВПО «НИ ТПУ»

## ВЫБОР НАЧАЛА НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ В СТРУКТУРЕ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.А. Бимберекон

CHOOSING THE BEGINNING OF SCIENTIFIC RESEARCH IN THE STRUCTURE OF WATER TRANSPORT  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
P.A. Bimberekov

The problem of choice in researching the structure of water transport, based on the philosophical and methodological consideration of its aspects. Made the selection of specific benchmarks, consideration of which should lead to the formation of a complex apparatus of the description of elements and the structure of water transport in general.

*Keywords: beginning of the study, water transport; performance evaluation of properties, sub-properties, states*

Рассмотрена проблема выбора начала исследования в структуре водного транспорта, опирающаяся на философско-методологическое рассмотрение ее аспектов. Произведен выбор конкретных базовых показателей, рассмотрение которых должно привести к формированию комплексного аппарата описания элементов и самой структуры водного транспорта в целом.

Начиная рассмотрение вопроса совершенствования структуры водного транспорта как целостного объекта, имеющего связь с окружающей действительностью, а точнее вплетенной в своей жизнедеятельности в природно-общественный комплекс, необходимо выбрать момент в существовании исследуемой структуры, с которого следовало бы начать такое исследование.

*Исходной посылкой может быть следующая.* Водный транспорт возникает как таковой тогда, когда начинается использование каких-либо транспортных средств для передвижения по воде. Следовательно, исследование становления водного транспорта можно рассматривать как становление транспортных средств - судов, а ещё более конкретно как становление конструкций судов, в частности, становление судовых корпусных конструкций, движителей и т.д., а также средств их создания, обслуживания и т.п.

Для выявления закономерностей развития и работы конструкций судов, казалось бы, наиболее правильным должно быть рассмотрение становления и работоспособности судовых конструкций начиная с первобытных плотов и долбленок. Однако это нецелесообразно из-за больших временных затрат. Удобней начать исследование интересующего вопроса с более близкого, и хорошо известного периода развития судовых конструкций.

Для того, чтобы определить справедливость такого подхода, необходимо методологическое обоснование выбора той или иной концепции начала исследований. Для последнего требуется осмысление выбора начала науки на философско-методологическом уровне, ранее автор по этому поводу представлял свое мнение в [1].

*Выбор начала научного исследования (философско-методологический аспект проблемы).* Как известно, выбор начала философии осуществлялся различными мыслителями по разному [2, 3]. Так философы милетской школы, Гегель [4] и ряд других связывали начало бытия и философии. В современной философии за исходные начала берутся категории, связанные с основным вопросом философии (материя, сознание), а также категория «практика». Руководящими принципами построения выбираются следующие [5, С. 146-155]:

1 Положение о категориях как ступенях развития познания, выражающее единство исторического и логического;

2 Каждая категория должна связываться с той степенью развития познания, где она наиболее полно развернула свое содержание;

3 Принцип тождества диалектики, логики и теории познания.

У многих философов рассматривается такое начало, которое предопределяет однонаправленное построение философии. Зачастую в основу берутся категории, возникновение которых возможно лишь на некотором этапе становления познания (это следует из первого и второго принципов построения), то есть категории предполагающие существование более ранних понятий. Следовательно, в данном случае начало полагается не в начале однонаправленной оси познания, а просто на оси познания. При этом хорошо видно противоречие, относящееся ко второй части первого принципа.

Так, из приведенного примера в [5, С. 159-165] об истории развития познания электрических явлений хорошо виден обратный ход познания относительно истории становления материальных образований [6, 7].

Обратим внимание на начала, выбираемые в отдельных науках, как считается отпочковавшихся в свое время от философии, устанавливаемые в ходе становления этих наук. Последние развиваются по мере становления общества, отражают естественный ход его развития, а, следовательно, являются представительным «сечением тела» философии. В связи с чем, по-видимому, правомерно индуктивное перенесение закономерностей развития отдельных наук на всю философию в целом.

Геометрия и математика развивались длительное время независимо, а после введения Декартом геометрии координат они стали взаимно обогащать и дополнять друг друга [2, Т.1, С. 55; 8, С. 32-35]. И та, и другая наука базируется на аксиомах, которые изначально были результатом жизненного опыта и считались самоочевидными (интуитивно очевидные истины) [8, С. 243]. По мере развития наук в понимании их оснований происходили революции, открывающие новые горизонты. Произошел переход от конкретной аксиоматики, подобной аксиоматике Евклида, к аксиоматике сначала абстрактной, а затем к полностью формализованной [8, С. 249, 250]. В ходе развития наук первоначально сформировалось однонаправленное счисление. Позднее появилось и ещё позднее (после появления в нем потребности в ходе развития общества) было принято отрицательное направление в счислении. Несмотря на смену аксиоматики, исторически приобретенный подход к рассмотрению объектов бытия сохранился, он переносится на частные случаи. Так в настоящее время при анализе конкретных задач начало отсчета выбирается произвольно, в зависимости от удобства счисления. Причем существуют положительное, отрицательное, мнимое направления, рассматриваются и многомерные пространства [8, С. 32-35].

Обратимся теперь к истории. Первоначально общепринятым основанием было божественное начало, сотворение мира. От последнего и велось первоначальное счисление. Затем за точку отсчета было принято Рождество Христово, разбившее однонаправленную ветвь истории на нашу эру и противоположную (отрицательную) ветвь – до нашей эры. Да и все время мы подразделяем на прошлое, настоящее и будущее, где отсчет идет от текущей координаты (настоящее).

Мы видим, что начала отдельных наук устанавливаются не произвольно, а в онтологически сформированном и оформившемся виде. Становление наук включает формирование противоположных ветвей счисления, многомерных пространств. Приобретенная в ходе становления наук модель формирования пространств применяется при существующим уровне абстрагирования в произвольном месте. Из сказанного видно, что рассмотрение наук в различных направлениях от начала можно считать онтологически верным. Положение в начало философии момента не связанного непосредственно с началом бытия более удобно, чем отсчет от полностью абстрактного, нечетко рефлекслируемого начала.

Вышеприведенные доводы позволяют говорить о целесообразности выбора начала в самом «теле» философии. Наиболее предпочтительным в качестве такового может служить возникновение разума, как момент начала рефлексии, связанного для нас с возникновением человека разумного (антропное начало). Удовлетворение потребностей человека – исходная аксиома развития философии, направление его практической деятельности, должно быть ориентиром, а результаты человеческой деятельности – контролем построения логики и теории познания. Ход построения должен идти от рефлексии отдельных предметов, затем основных свойств групп предметов (группировка), после – формирования понятия иерархических структур (не связанных непосредственно с конкретными предметами, обладающими общими свойствами) и, наконец, – полностью диалектического подхода к единым структурно-изменчивым построениям, полностью формализованным, пригодным для описания произвольных объектов-структур. Такой выбор позволяет совместить принцип совместного развития логики, теории познания и истории развития, с её противоположными ветвями относительно возникновения разума.

Другим важнейшим моментом процедуры начала исследования должен служить выбор показателей (категорий) могущих охарактеризовать работу элементов, систем и в целом исследуемой структуры. Выбор указанных показателей также должен быть методологически обоснован.

*Показатели (категории) позволяющие описывать работу элементов, систем, структур.* Общепринято, что наиболее полной характеристикой объекта является его «ка-

чество», с присущим ему уровнем категории «количество», характеризуемое «содержанием». По нашему мнению наиболее полно структура понятия «качество» раскрыта в технике под термином «качество продукции». Оно включает в себя ряд свойств, наиболее видным и изучаемым из которых является «надежность», состоящее в свою очередь из подсвойств – безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости. Указанные подсвойства по нашему мнению базируются на способностях (работоспособность, неработоспособность) которые в технике специально не выделяются. По принятой в технике структуре понятий сразу ниже указанных подсвойств [9] идут состояния – работоспособное и неработоспособное, а также исправное и неисправное.

Для методологически верного использования понятий работоспособность, надежность, качество, их корректного количественного описания чрезвычайно желательно определить их место в общей понятийной структуре (структуре категорий). Построению такой категориальной структуры автор посвятил работу [10], которая хотя и выявила некоторые конкретные связи, но в целом показала сложность ее реализации. Понятие качество должно описываться теорией количеств, которая в настоящее время не существует. Существует вариант количественного определения качества посредством комплексного показателя в виде средне-взвешенного [11], который представляется не очень удачным, так как его численные значения и размерность могут иметь любые значения в зависимости от учитываемых параметров. Наиболее удачным количественным описанием качества объекта, по нашему мнению, является функция желательности Харрингтона [12, 14], достаточно сложная в реализации, требующая каждый раз специальных исследований набора контрольных параметров и их удельных весов. Надежность должна описываться теорией множеств. Используемый в практике оценки надежности объектов набор частных и комплексных показателей говорит об отсутствии целостного аналитического аппарата описания надежности в системе. Исследования автора по построению аналитических зависимостей описывающих надежность элементов в системах по мере их усложнения показали [15, 16], что при введении в процесс существования функции сохраняемости аналитическое описание надежности элемента становится жестко зависимым от сценария жизни (который нужно предвидеть), то есть весьма индивидуализируется.

Вместе с тем, рассмотрение структуры понятий (категорий) составляющих понятие «качество» приводит к понятиям исправного и работоспособного состояния, которые в практике их количественного определения выражаются как функции обратные отрицательным состояниям или событиям – отказам, повреждениям, предельному состоянию и т.д.

Наиболее удачным, по нашему мнению, будет выражение положительных критериев, составляющих понятие «качество» через понятие повреждение. Под которым будем понимать событие, а также результат события приобретения объектом дефекта, непосредственно не приводящего к отказу, а только могущего послужить источником такого при определенных условиях. Определение позитивных понятий, составляющих понятие «качество» через понятие повреждение, нормирование состояния объекта по повреждениям, по нашему мнению более прогрессивно, по сравнению с нормированием по отказам (событиям перехода в неработоспособное состояние), так как открывает возможность избежать последние.

*Приложение результатов рассмотрения выбора начала научного исследования к структуре водного транспорта.* Из вышесказанного позволительно сделать вывод о правомерности начала исследования конструкций судов, ориентируясь на существующие сейчас. При аксиоме – удовлетворения потребности человека в перевозках, знании о специализации в эксплуатации судов, известных районах плавания, целесообразно начать исследование конструкций судов с анализа их работоспособности и далее – их надежности и качества. Рассмотрение совершенствования конструкций судов должно проводить с учетом существовавших ранее, при анализе их в исторически обратном порядке. Ход сбора и обработки информации должен вестись в соответствии с указанным выше ходом построения научных исследований (ранее выделено подчеркиванием), базируясь на выбранные показатели (по нашему мнению это должны быть повреждения), позволяющие количественно охарактеризовать работу, как отдельного элемента – судна, так и систему водного транспорта в целом.

Ход процесса накопления информации представим следующим образом:

**фиксация отдельных случаев →**

**→ объединение по принадлежности к определенным группам →**

→ иерархическая группировка взаимосвязанных структур →

→ комплексное построение взаимосвязи внешних  
и внутренних преобразований объектов.

Применительно к процессу накопления повреждений корпусами судов указанную последовательность представим в следующем виде [17].

1 Фиксация отдельных повреждений судовых конструкций.

2 Группировка повреждений по

– районам судна (борт, днище, палуба, нос, миделевая часть, корма, машинное отделение и т.д.);

– зонам, связям судна (шпангоуты, стрингеры, пояся обшивки и т.д.);

– повреждениям относительно внешних условий (ледовых, штормовых, морской воде, ограниченной видимости, ограниченного фарватера и т.д.).

3 Получение закономерностей повреждаемости по обобщенным, взаимосвязанным иерархическим структурам – судовым перекрытиям, блокам корпуса судна, обладающим набором внутренних (конструктивных) параметров.

4 Обобщение закономерностей повреждаемости (износов, остаточных деформаций и т.д.) по показателям местной и общей прочности, соотносящих внешние нагрузки и величины действующих напряжений. Показатели общей и местной прочности учитываются во времени, с учетом получения судовыми конструкциями повреждений (износов, остаточных деформаций и т.д.). Данный этап должен дать возможность получения закономерностей накопления повреждений корпусными конструкциями судов в произвольных условиях.

Поскольку принципы накопления изменений (фиксации изменений) родственны и для процесса в целом и для новых, неизученных объектов, то рассматриваемые выше этапы могут быть отнесены и ко всему периоду накопления знаний по работе корпусных конструкций, и к оценке новых (не изученных) конструкций, и к анализу работы судов в нестандартных (не изученных ранее) ситуациях.

В настоящее время уровень развития расчетных методик четвертого этапа не достаточно для произвольного описания работоспособности (повреждаемости) корпусных перекрытий (хотя уже сделаны серьезные шаги в этом направлении [18]), поэтому остаются, и еще длительное время будут оставаться актуальными статистические исследования повреждаемости судов в соответствии с тремя первыми этапами. Кроме того, данные первых трех этапов всегда будут необходимы для контроля и совершенствования четвертого этапа. В связи с чем, необходимо уделять серьезное внимание развитию статистических методик и сбору данных в натурных и модельных условиях.

Можно выделить следующие направления подбора статистической информации, обуславливающей работоспособность (повреждаемость) судовых перекрытий:

1 Выявление закономерностей реализации уровня бездефектных судов при проектировании и производстве.

2 Сбор статистических данных воздействия внешней среды, которые можно подразделить на следующие:

– по методу обработки (погрузки-выгрузки) и др.;

– путевые (возможно согласно действующей классификации судовых путей);

– погодные;

– по организации (насыщенности, порядку) работы линий;

– по уровню эксплуатационного персонала.

3 Выявление зависимостей, связывающих внешние воздействия, накопление повреждаемости судовыми корпусными конструкциями и параметрами (размерениями, конструктивному оформлению) судовых перекрытий. В частности, могут быть найдены обобщенные параметры связи конструктивных факторов корпусов с их повреждениями в определенных (подробно не рассматриваемых) условиях (см. например, [17, С. 177-185]).

4 Сбор данных по влиянию наличия и состояния ремонтных баз на накопление повреждений корпусными конструкциями.

5 Выявление влияния статистических данных повреждаемости на совершенствование или выбор судовых конструкций.

*Для выявления общих статистических закономерностей повреждения корпусных конструкций необходимо обзорное и комплексное рассмотрение влияния на повреждаемость корпусов различных факторов: конструктивных, производственно-*

технологических и эксплуатационных. Требуются значительные объемы статистической информации, часть которых может быть взята из уже полученных частных фактов и закономерностей, часть может быть получена в результате дополнительной научной обработки известных данных, а, кроме того, необходимо, как это отмечалось выше, постоянно и планомерно накапливать данные в натурных и модельных условиях.

Можно также отметить, что структурная комплексность исследования должна по возможности соответствовать реальной структурности воздействия различных факторов на судно. При этом особое место имеет уровень информативности всей структуры водного транспорта, обуславливающей уровень ее состояния, включая связи между отдельными субъектами: производителями, научно-исследовательскими организациями, системой подготовки кадров.

Свое видение по системному описанию судов в структуре водного транспорта, базирующейся на факторе повреждаемости их корпусов автор изложил в статье [19].

Важным моментом, по мнению автора, является определение комплексных (безотказность, надежность, качество) критериев оценки служб структуры водного транспорта, формулировка для них функций цели и путей их достижения, базирующихся на выбранном параметре повреждаемости. Позиция автора по этому вопросу изложена в [20].

Выводы.

1 Возможен выбор начала исследования структуры водного транспорта с любого удобного момента. Таковым, наиболее доступным и информативно представительным является текущий момент ее существования.

2 Наиболее логичным выбором объекта-индикатора для оценки состояния структуры водного транспорта в целом являются суда.

3 Выявлен базовый параметр – повреждаемость, принципиально позволяющий произвести методологически обоснованное описание отдельных элементов и структуры водного транспорта в целом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бимбереков, П.А. О выборе начала научного исследования (культурно-методологический аспект проблемы) / П.А. Бимбереков // Совершенствование высшего профессионального образования молодежи: межвуз. сб. науч.-метод. материалов семинара-совещ. «Проблемы совершенствования высш. проф. образования молодежи и пути их решения» и науч.-метод. конф. «Проблемы формирования проф. культуры молодых специалистов» / СГАПС. -Новосибирск, 1995. -С. 156-158.

2 Рассел, Б. История западной философии: в 2 т. / Б. Рассел. -М.: МИФ, 1993. -2 т.

3 Коваль, С. От развлечения к знаниям. Математическая смесь / С. Коваль. -Warszawa: Wydawnictwa naukowo-techniczne, 1972. -539 с.

4 Гегель Г. Наука логики. В 3 т. Т.1. / Г. Гегель. - М.: Мысль. -501 с.

5 Диалектический материализм: учеб. пособие / под ред. А.П. Шептулина. -М.: Высш. шк., 1975. -376 с.

6 Девис, П. Суперсила / П. Девис. -М.: Мир, 1989. -272 с.

7 Хокинг, С. От большого взрыва до черных дыр / С. Хокинг. -М.: Мир, 1990. -216 с.

8 Рузавин, Г.И. Философские проблемы оснований математики / Г.И. Рузавин. -М.: Наука, 1983. -302 с.

9 ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения. -М.: Изд-во стандартов, 1990. -30 с.

10 Бимбереков, П.А. Подход и элементы построения категориальной структуры мироздания / П.А. Бимбереков // Сиб. вестн. с.-х. науки. -1996. -№3/4. -С. 116-122.

11 ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия термины и определения. -М.: Изд-во стандартов, 1991. -28 с.

12 Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. -М.: Наука, 1976. -279 с.

13 Маркова, Е.В. Комбинаторные планы в задачах многофакторного эксперимента / Е.В. Маркова, А.Н. Лисенков. -М.: Наука, 1979. -345 с.

14 Радаман, А. Состояние, перспективы развития и проблема выбора регулируемого электропривода в корабельных электро-энергетических системах / А. Радаман, С.А. Томилин, Г.С. Ясаков // Мор. вестн. -2007. -№2(22). -С. 45-47.

15 Бимбереков, П.А. Построение аналитической модели надежности объекта в системе с техническим обслуживанием и ремонтом / П.А. Бимбереков // Сиб. науч. вестн. / Рос. акад. естеств. наук, ННЦ «Ноосфер. знания и технологии»; Новосиб. гос. акад. вод. трансп. - Новосибирск, 2007. -Вып. 1. -С. 95-104.

16 Бимбереков, П.А. Аналитическая модель надежности элемента в системе с техническим обслуживанием, ремонтом и хранением / П.А. Бимбереков // Сиб. науч. вестн. / Рос. акад. естеств. наук, ННЦ «Ноосфер. знания и технологии»; Новосиб. гос. акад. вод. трансп. - Новосибирск, 2007. -С. 104-113.

17 Бимбереков, П.А. Исследование повреждаемости, методики освидетельствования и дефектации корпусных конструкций судов внутреннего и смешанного плавания / П.А. Бимбереков. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2007. -420 с.

18 Бойцов, Г.В. Новые принципы нормирования прочности судов / Г.В. Бойцов // Судостроение. -2003. -№4. -С. 9-10.

19 Бимбереков, П.А. Системный подход к системе водного транспорта, базирующийся на факторе повреждаемости их корпусов / П.А. Бимбереков // Реч. трансп. (XI век). -2007. - №4. -С. 74-75.

20 Бимбереков, П.А. Определение комплексных критериев оценки служб эксплуатационной структуры водного транспорта / П.А. Бимбереков // Реч. трансп. (XI век). -2007. -№6. -С. 56-59.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** начало исследования; водный транспорт; показатели оценки свойств, подвойств, состояний

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Бимбереков Павел Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

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

## **ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЦИЗИОННОСТИ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СУДОВЫХ ТОПЛИВ**

**ФГУП «Сибирский государственный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт метрологии»**

**Г.В. Шувалов**

### **ESTIMATION OF INDICATORS PRECISION OF METHODS OF MEASUREMENTS OF PARAMETERS SHIP FUELS**

«Siberian research institute to metrologies»

G.V. Shuvalov

In article questions of an estimation of indicators precision methods of measurements of parameters of oil products, including ship fuels are considered.

*Keywords: ship fuel, indicators precision, parameters of oil products*

Рассмотрены вопросы оценки показателей прецизионности методов измерений параметров нефтепродуктов, в том числе судовых топлив.

Важнейшими коммерческими показателями качества нефтепродуктов являются: плотность, содержание серы, фракционный состав, температура вспышки. Нормативная база, регламентирующая вопросы метрологического обеспечения учета нефтепродуктов, в основном сложилась в 70-80 годы и морально устарела, в связи с чем в настоящее время разработан проект Технического регламента «О требованиях к средствам измерений показателей нефти и нефтепродуктов», устанавливающий метрологические и технические требования к средствам и методам измерений показателей нефтепродуктов.

Так, например, по требованиям проекта Технического регламента «О требованиях к средствам измерений показателей нефти и нефтепродуктов», сходимости и воспроизводимости результатов измерений массовой доли серы в автомобильном бензине и дизельном топливе рассчитывается, как указано в таблице 1, а в судовом топ-

*Таблица 1 – Показатели точности измерения массовой доли серы в бензине и дизельном топливе*

Характеристика измерения	Сходимость	Воспроизводимость
от 5,0 до 60,0 мг/кг	1,7+0,0248X	1,9+0,1201X
св. 60 до 500 мг/кг	4,0	4,6+0,075X

X-среднее значение результатов, мг/кг

ливе как указано в таблице 2.

Сходимость и воспроизводимость результатов измерений температуры вспышки в закрытом тигле в дизельном и судовом топливе по проекту Технического регламента «О требованиях к средствам измерений показателей нефти и нефтепродуктов» не должна превышать значений, указанных в таблице 3.

В этой связи был проведен анализ парка современных приборов для анализа параметров нефтепродуктов на соответствие требованиям Технического регламента «О требованиях к средствам измерений показателей нефти и нефтепродуктов». Производилось сопоставление требований этого регламента с характеристиками существующих средств измерений по основным параметрам нефтепродуктов: массовая доля серы и температура вспышки в закрытом тигле. Указанные параметры были выбраны потому, что технический регламент «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» предъявляет обязательные требования к качеству отечественных судовых топлив в виде двух этих показателей, характеризующие экологические и пожароопасные свойства топлив, а именно: содержание серы и температура вспышки.

Для анализа параметров приборов был выбран ряд приборов отечественного и зарубежного производства для определения массовой доли серы (таблица 4).

*Таблица 4 – Приборы для определения массовой доли серы в нефтепродуктах*

Тип, марка прибора	Страна изготовитель	Метод определения (ГОСТ)	Метрологические характеристики
Анализатор серы АИСС-1М	Россия	ГОСТ Р 51947-2002	Диапазон 0,015-5,000%;
Анализатор серы АСЭ-2	Россия	ГОСТ Р 51947-2002	Диапазон 0,005-5,000%; Сходимость 0,0003% (3 мг/кг)
Анализатор серы RX-360SH (вне-сен в Госреестр)	Россия	ISO 8754, ASTM D4294	Диапазон 0,003-6,000%; Воспроизводимость 0,0005% (5 мг/кг)
Анализатор SLFA-20	Япония, Horiba	ASTM D4294 (ГОСТ Р 51947-02)	Диапазон от 0,05-5,00%; Сходимость 0,0015% (15 мг/кг)
Анализатор серы СПЕКТРОСКАН S	Россия	ГОСТ Р 51947-02 (ASTM D 4294-98)	Два диапазона – до 0,1%; 0,1-5,0%
Анализатор АСЭ-1	Россия	ГОСТ Р 51947-2002,	Диапазон измерений 0,005-5,000%; Сходимость 0,003% (30 мг/кг)
Прибор ФАКЕЛ	Россия	Ламповый метод по ГОСТ 19121-73	Диапазон измерений 0,01-5,00%
Анализатор АК-6	Россия	Ламповый метод по ГОСТ 19121	Диапазон измерения 0,001-5,000%
Анализатор SLFA-2100/2800	Япония, Horiba	ASTM D4294-98, ГОСТ Р 51947-02	Диапазон 0,05-5,00%; Сходимость 0,00016% (1,6 мг/кг)
Спектроскан -SL	Россия	ГОСТ Р 51947-02	Диапазон 0,0007-5,0000%
Анализатор СИМ-6	Россия, ФГУП СНИИМ	ГОСТ 19121-73	Диапазон 0,01-2,00%; Пределы допускаемой относительной погрешности не более 15%
Анализатор SLFA-20/20Т	Япония, Horiba	ASTM D4294/ISO 8754/ГОСТ 51947-2002	Диапазон 0,001-5,000%; Воспроизводимость 0,0006% (6 мг/кг)
Анализатор серы АСВ-1	Россия, НПП «Буревестник»	ГОСТ Р 51947-2002	Диапазон 0,0005-5,0000%; Сходимость не более 0,0002% (2 мг/кг)

*Таблица 2 – Показатели точности измерения массовой доли серы в судовом топливе*

Характеристика измерения	Сходимость, %	Воспроизводимость, %
до 1,0% масс.	0,05	0,20
св.1,0 до 2,0% масс.	0,05	0,25
св.2,0 до 3,0% масс.	0,10	0,30
св.3,0 до 5,0% масс.	0,10	0,45

*Таблица 3 – Показатели точности измерения температуры вспышки*

Температура вспышки	Сходимость	Воспроизводимость
до 104 °С	2	4
свыше 104 °С	5	8

Как видно из таблицы, только в пяти из тринадцати приборов для анализа массовой доли серы в нефтепродуктах указана сходимостъ и только в двух других приборах – воспроизводимостъ. В остальных производитель не указывает эти параметры, в связи с чем их не удается сопоставить с требованиями Технического регламента.

Из пяти приборов с известной сходимостъю два прибора для анализа массовой доли серы в нефтепродуктах не удовлетворяют требованиям Технического регламента по параметрам автомобильного бензина и дизельного топлива, а для судового топлива все приборы удовлетворяют требованиям Технического регламента.

Из 2-х приборов с известной воспроизводимостъю один прибор не удовлетворяет требованиям Технического регламента по параметрам автомобильного бензина и дизельного топлива, но удовлетворяет требованиям к характеристикам судового топлива. Аналогично был проведен анализ семи приборов по температуре вспышки нефтепродуктов в закрытом тигле (таблица 5).

*Таблица 5 – Приборы для определения температуры вспышки нефтепродуктов*

Тип, марка прибора	Страна изготовитель	Метод определения (ГОСТ)	Метрологические характеристики
Анализатор АК-5Д	Россия	ГОСТ 6356-75	Определение температуры вспышки до 300 °С
Аппарат ТВЗ-ЛТ	Россия	ГОСТ 6356-75	Температура вспышки 30-360 °С
Аппарат ТВЗ-1М	Россия	ГОСТ 6356-75	Диапазон рабочих температур 30-360 °С
Аппарат ТВЗ-ЛАБ-01	Россия	ГОСТ 6356-75	Диапазон рабочих температур 35-350 °С
СИМ-5Д	Россия	ГОСТ 6356-75	Определение температуры вспышки до 300 °С
Прибор ВСПЫШ-КА-А	Россия	ГОСТ 4333 и ГОСТ 6356-75	Температур вспышки в закрытом тигле 30-260 °С
Анализатор РМ-М	Россия	ГОСТ 6356-75	Диапазон рабочих температур 40-360 °С

По проекту Технического регламента сходимостъ и воспроизводимостъ результатов измерений температуры вспышки в закрытом тигле в дизельном и судовом топливе не должна превышать значений, указанных в таблице 3.

Норма этих требований полностью соответствует требованиям ГОСТ 6356-75 «Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле». Так как все семь анализируемых приборов для определения температуры вспышки в закрытом тигле соответствуют ГОСТ 6356-75, то можно сказать, что все они удовлетворяют требованиям проекта Технического регламента.

Таким образом, можно сделать следующие выводы по результатам анализа и сопоставления характеристик средств измерений для определения температуры вспышки и содержания серы в нефтепродуктах:

- анализировалось 13 приборов для измерения массовой доли серы в нефтепродуктах, только в 5-ти из них производитель указал сходимостъ и в 2-х других – воспроизводимостъ;
- из пяти приборов с известной сходимостъю два прибора для анализа массовой доли серы в нефтепродуктах не удовлетворяют требованиям Технического регламента «О требованиях к средствам измерений показателей нефти и нефтепродуктов» по параметрам автомобильного бензина и дизельного топлива, а для судового топлива все приборы удовлетворяют требованиям Технического регламента;
- из двух приборов с известной воспроизводимостъю один прибор не удовлетворяет требованиям Технического регламента «О требованиях к средствам измерений показателей нефти и нефтепродуктов» по параметрам автомобильного бензина и дизельного топлива, но удовлетворяет требованиям к характеристикам судового топлива;
- все семь анализируемых приборов для определения температуры вспышки в закрытом тигле удовлетворяют требованиям проекта Технического регламента;

Таким образом, по результатам проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

- большая часть производителей приборов для анализа массовой доли серы в нефтепродуктах в настоящее время не указывают в технической документации приборов значения

параметров «сходимость» и «воспроизводимость», что делает невозможным установить пригодность этих средств измерений для контроля характеристик нефтепродуктов;

– одним из вариантов решения этой проблемы заключается в запросе указанной информации у производителя, другим - экспериментального получения эти характеристик непосредственным потребителем на месте эксплуатации прибора.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** судовые топлива, показатели прецизионности, параметры нефтепродуктов

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, заместитель директора по научной работе ФГУП «СНИИМ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630004, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОТОПЛИВНОЙ ЭМУЛЬСИИ КАК МЕТОД ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

ГОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет»

**М.Ф. Шагеев, Э.М. Хайриева**

**USE WATER-FUEL EMULSION AS A METHOD ENERGY-SAVING AND INCREASES OF ECOLOGICAL SAFETY OF THE POWER FACTORIES**

«Kazan state power engineering university»

M.F. Shageev, E.M. Hairieva

The influence of energy-saving actions on decrease in expenses on factories' auxiliary and the emissions reduction into the atmosphere is considered.

*Keywords: water-fuel emulsion, black oil facilities, oil heating*

Рассмотрено влияние энергосберегающих мероприятий на снижение расходов на собственные нужды предприятий и уменьшения выбросов в атмосферу.

В современном мире энергетика является основой развития базовых отраслей промышленности, определяющих прогресс общественного производства. Во всех промышленно развитых странах темпы развития энергетики опережали темпы развития других отраслей.

В то же время энергетика – один из источников неблагоприятного воздействия на окружающую среду и человека. Она влияет на атмосферу (потребление кислорода, выбросы газов, влаги и твердых частиц), гидросферу (потребление воды, создание искусственных водохранилищ, сбросы загрязненных и нагретых вод, жидких отходов), биосферу (выбросы токсичных веществ) и на литосферу (потребление ископаемых топлив, изменение ландшафта).

Тепловая электрическая станция (ТЭС) является основным производителем электрической и тепловой энергии в крупных промышленных центрах и городах. Для выработки энергии, здесь используют сжигание органического топлива в котельных агрегатах.

Следует обратить внимание на значительный вклад выбросов ТЭС в общий объем загрязнения атмосферы диоксидом серы и окислами азота. Это проблема приобретает особую остроту в связи с отсутствием методов очистки, реализованных на электрических станциях.

На территории России ТЭС сжигают, в значительной части, газообразное топливо.

При эксплуатации приходится уделять внимание режиму работы ТЭС в целом и ее отдельных элементов, устройством для собственных нужд (в частности мазутному хозяйству), а также влияние станций на окружающую среду.

Одним из основных путей решения экологической проблемы на ТЭС является снижение расходов топлива, что не допустимо для станций. Данный путь может привести к снижению выработки тепловой и электрической энергии. При таком условии не должен страдать потребитель. Поэтому снижение затрат на собственные нужды электрические станции являются актуальной проблемой для защиты окружающей среды.

Одним из самых больших потребителей тепловой энергии на ТЭС является мазутное хозяйство. Сложившаяся экологическая ситуация в Российской Федерации позволило экологическим службам ввести в регламент значительное количество промышленных вопросов.

Тем самым, заставив большинство ТЭС перейти на сжигание природного газа, а мазут держать в качестве, горячего или холодного резерва.

Добившись снижения собственных нужд хотя бы на одном объекте (мазутном хозяйстве) можно сократить потребление топлива и, в целом, уменьшить выбросы в атмосферу.

Поэтому, приступая к экологическому нормированию, необходимо, прежде всего, понять действие загрязнителей на отдельные виды, имеющие важное значение для человека или для экосистемы в целом.

Из-за распространенной в мазутном хозяйстве промышленных предприятий, районных котельных и ТЭС технологии разгрузки, хранения и поддержания в горячем резерве, происходит обводнение мазута. В процессе работы мазутного хозяйства некоторое количество воды может скапливаться на дне резервуара, и достигать уровня всасывающего патрубка. Скопившаяся вода вместе с мазутом, в виде водяной пробки, попадает в трубопроводы и через них к форсункам энергетических котлов. В результате ухудшаются условия сжигания мазута, факел становится нестабильным, как следствие может погаснуть, выгорание мазута становится неполным, увеличивается количество вредных веществ в продуктах сгорания, снижается надежность котельных агрегатов и печей и обслуживающего их оборудования [1].

Повысить надежность работы и экономичность котельных агрегатов и печей в условиях эксплуатации мазутного хозяйства можно за счёт равномерного распределения воды по всей массе мазута, то есть создать из топлива водомазутную эмульсию (ВМЭ). Использование в качестве топлива ВМЭ является одним из эффективных методов, позволяющих устранить негативные последствия этого явления. При сжигании ВМЭ получают существенный экономический эффект и снижение эмиссии загрязняющих веществ (СО, сажи, окислов азота, бензапирена и других канцерогенных полициклических ароматических углеводородов) в атмосферу. Использование гомогенизированной ВМЭ позволяет повысить коэффициент сжигания топлива, сэкономить мазут и уменьшить вредные выбросы  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}_x$  в атмосферу при их сжигании. Но само по себе оно еще не решает проблемы сжигания обводненных мазутов, поэтому при изготовлении ВМЭ необходимо добавлять присадки, то есть поверхностно-активные вещества (ПАВ), улучшающие эксплуатационные характеристики мазута [1, 2]. Качество получившегося топлива определяется в большей степени его дисперсностью, то есть размерами частиц дисперсной фазы (воды). Чем выше дисперсность и меньше капельки воды, тем устойчивее эмульсия и выше ее качество.

Технология обработки мазута присадками в основном определяется структурой их и способностью растворяться в топливе [2, 3].

Вода в исходном виде является, прежде всего, балластной добавкой, снижающей давление и температуру. Однако в условиях топки наряду с чисто физическим воздействием воды возможно проявление ее химической активности, заключающейся в протекании реакции водяного пара с углеводородным топливом.

В результате реакции конверсии топлива с водяным паром образуется окись углерода и водорода. Процесс довольно активно протекает при температурах выше  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ , причем его полнота определяется количеством тепла, подведенного к реагентам в период реакции. Затраченное на процесс тепло частично компенсируется при горении образовавшихся СО и  $\text{H}_2$ . В тоже время присутствие водорода оказывает положительное воздействие на протекание процесса горения в целом.

Рационально организованный процесс сжигания ВМЭ с поверхностно-активными веществами позволяет по сравнению со сжиганием неэмульгированного мазута снизить содержание в дымовых газах окислов азота до 40%, сажи до 80%. Происходит более глубокое выгорание топлива, уменьшаются золотые отложения по газовому тракту, и как следствие, повышается надежность работы энергетических котлов.

Переход на сжигание ВМЭ приводит к снижению концентраций оксидов азота в продуктах сгорания, который рассматривается в широком диапазоне коэффициентов избытка воздуха по сравнению с режимами сжигания неэмульгированного мазута.

Применение водотопливной эмульсий целесообразно с экологической точки зрения, так как этот прием является эффективным методом защиты воздушного бассейна от загрязнения. Наличие воды в мазуте уменьшается содержание вредных выбросов с продуктами сгорания в атмосферу.

Большинство публикаций рассматривают горение водотопливной эмульсии, но при этом остается, не исследована проблема ее хранения.

Одним из способов хранения является циркуляционный подогрев ВМЭ. В работах [4-7]

рассмотрены вопросы поддержания теплофизических свойств ВМЭ, в период хранения у потребителей, что является важным условием дальнейшего использования.

Проведенные исследования показали, что предусмотренные типовой методикой затраты теплоты и электроэнергии на содержание мазутного хозяйства при циркуляционном подогреве мазута имеют значительные резервы. Перевод теплотехнологической схемы мазутного хозяйства ТЭС на использование ВМЭ приводит к экономии: электроэнергии и теплоты. Экономический эффект составит 229,1 тыс. руб./год на один мазутный насос.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Шагеев, А.Ф. Сжигание в энергетических котлах и промышленных печах водомазутной эмульсии с присадкой СНПХ-9777 / А.Ф. Шагеев, М.Ф. Шагеев, Т.Н. Юсупова, Г.В. Романов, Е.С. Охотникова, Б.Я. Маргулис, Э.А. Ахметов, Э.М. Хайриева // Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики. -2009. -№3/4. -С. 21-27.

2 Шагеев, М.Ф. Сжигание в промышленных печах водомазутной эмульсии с добавлением присадки / М.Ф. Шагеев, Т.Н. Юсупова, Г.В. Романов, А.Ф. Шагеев, Б.Я. Маргулис // Экспозиция. Нефть. Газ. -2008. №3/Н (июнь). -С. 43-46.

3 Назмеев, Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭС / Ю.Г. Назмеев. -М.: Изд-во МЭИ, 2002. -612 с.

4 Шагеев, М.Ф. Определение времени разогрева водомазутной эмульсии в резервуарах при хранении на ТЭС и промышленных предприятиях / М.Ф. Шагеев, В.В. Лопухов, Б. Салахелдин // Экспозиция. Нефть. Газ. -2009. -№4/Н (сент.). -С. 52-53.

5 Шагеев, А.Ф. Концепция получения нового вида энергетического топлива на основе нефтяных остатков, высоковязкой нефти и природных битумов / А.Ф. Шагеев, Б.Я. Маргулис, М.Ф. Шагеев, Э.М. Хайриева, Т.Н. Юсупова, Г.В. Романов, Е.С. Охотникова // Экспозиция. Нефть. Газ. -2009. -№5/Н (окт.). -С. 38-39.

6 Охотникова, Е.С. Разработка составов устойчивых водо-топливных эмульсий на основе природных битумов / Е.С. Охотникова, Ю.М. Ганеева, Т.Н. Юсупова, Г.В. Романов, М.Ф. Шагеев, А.Ф. Шагеев, Б.Я. Маргулис // Актуальные проблемы поздней стадии освоения нефтегазодобывающих регионов: материалы междунар. науч.-практ. конф. -Казань, 2008. -С. 323-326.

7 Хайриева, Э.М. Режимы хранения водомазутной эмульсии на промышленных предприятиях и ТЭС / Э.М. Хайриева, М.Ф. Шагеев, Р.И. Максимова, Г.М. Хаппанова // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы пятой междунар. науч.-техн. конф. / ВоГТУ. -Вологда, 2009. -Т.2. -С. 205-207.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** водотопливная эмульсия, мазутное хозяйство, подогрев топлива  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Шагеев Марат Фаридович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «КГЭУ»  
Хайриева Эльвира Мусаевична, магистрант ГОУ ВПО «КГЭУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, ГОУ ВПО «КГЭУ»

## ТЕПЛОВАЯ НАПРЯЖЁННОСТЬ ЦИЛИНДРОВОЙ ВТУЛКИ ДИЗЕЛЯ ZH40/48 В ПОЯСЕ ПРОДУВОЧНЫХ ОКОН

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет  
им. адм. Г.И. Невельского»

**В.Н. Кучеров, М.В. Флорианская**

**HEAT CONDITION ZONE OF SCAVENGING PORTS CYLINDER LINER ZH40/48 DIESEL**  
«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoy»  
V.N. Kucherov, M.V. Florianskaya

On the basis of the analysis wearing rate cylinder liners some ZH 40/48 diesel thermal and stress measurement on cylinder liners were made. To reduce thermal loads of scavenging port zone modernization were performed cylinder liner.

*Keywords: diesel engine, cylinder liners, scavenging ports, wearing, modernization*

Рассматриваются вопросы, связанные с теплонапряженностью и повышенной скоростью изнашивания цилиндрических втулок среднеоборотных дизелей ZH40/48 в районе продувочных окон. Разработаны модернизационные конструкторские мероприятия для интенсификации охлаждения втулки в

поясе окон. Приводятся расчетные и экспериментальные результаты выполненных исследований.

Среднеоборотные дизели (СОД) получили широкое распространение на судах в качестве главных и вспомогательных двигателей. В большинстве СОД имеют четырёхтактное исполнение, которое обеспечивает более благоприятные условия для работы пар трения «втулка – поршневые кольца – канавки поршня». В Дальневосточном морском пароходстве наряду с четырёхтактными двигателями эксплуатируется большое количество двухтактных СОД типа ZH40/48 и ZL40/48 фирмы «Зульцер», которые установлены на ледоколах типа «Ермак» и «Капитан Хлебников». Только на судах типа «Ермак» установлено девять двигателей 12ZH40/48 номинальной мощностью по 3380 кВт с общим числом цилиндров – 109 единиц. Дизель модели ZL конструктивно аналогичен модели ZH, но имеет на 20% более высокую форсировку, в основном, за счёт увеличения частоты вращения с 380 до 430 мин<sup>-1</sup> соответственно. Номинальное среднее эффективное давление у модели ZH составляет 0,74 МПа, а у модели ZL – 0,79 МПа.

На всех двигателях ледокола «Ермак» в первые 10 тыс. ч эксплуатации особых замечаний в работе ЦПГ не отмечалось кроме периодической замены поршневых колец из-за их износа. После наработки 13,8 тыс. ч почти на всех дизелях стал выявляться износ цилиндрических втулок в районе продувочных окон, преимущественно со стороны распределительного вала.

При наработке близкой к 17 тыс. ч участились поломки колец в связи с большим износом канавок в головках поршней, а в последующем – сильные повреждения и изломы перемычек по тем же причинам.

Тщательное обследование ряда втулок показало, что помимо изнашивания перемычек окон с одинаковой интенсивностью изнашивается и верхний пояс цилиндрических втулок. Поскольку допустимый износ втулки в верхнем поясе составляет 1,8 мм, а в районе окон только 0,6 мм, то ресурс цилиндрической втулки определяет именно зона перемычек нижнего пояса.

Проведённый анализ характера изнашивания цилиндрических втулок на ледоколах «Адмирал Макаров» и «Капитан Хлебников» показали общность эюр износа (рисунок 1). После наработки 23 тыс. ч на ледоколе «Ермак» возникла потребность в замене 40 цилиндрических втулок, износ которых в районе окон значительно превышал допустимый и в ряде случаев приближался к 2 мм.

Оперативно проведённые термометрические измерения цилиндрической втулки в зоне окон на ледоколе «Адмирал Макаров» перед постановкой его в ремонт после арктической навигации показали рабочие температуры на перемычках окон на уровне 135 °С, которые значительно превышают значения температур в этой зоне для судовых МОД с прямоточно-клапанной продувкой. На рисунке 2а показаны температурные поля в районе окон для штатной втулки.

Считается, что температура втулки в районе перемычек окон из условий благоприятной работы не должна превышать 120 °С [1]. Повышению температуры втулки у окон способствует большое термическое сопротивление теплопроводности массивного пояса у окон, односторонний подвод и отсутствие организованного циркуляционного контура охлаждающей жидкости. Старение двигателя, турбонагне-

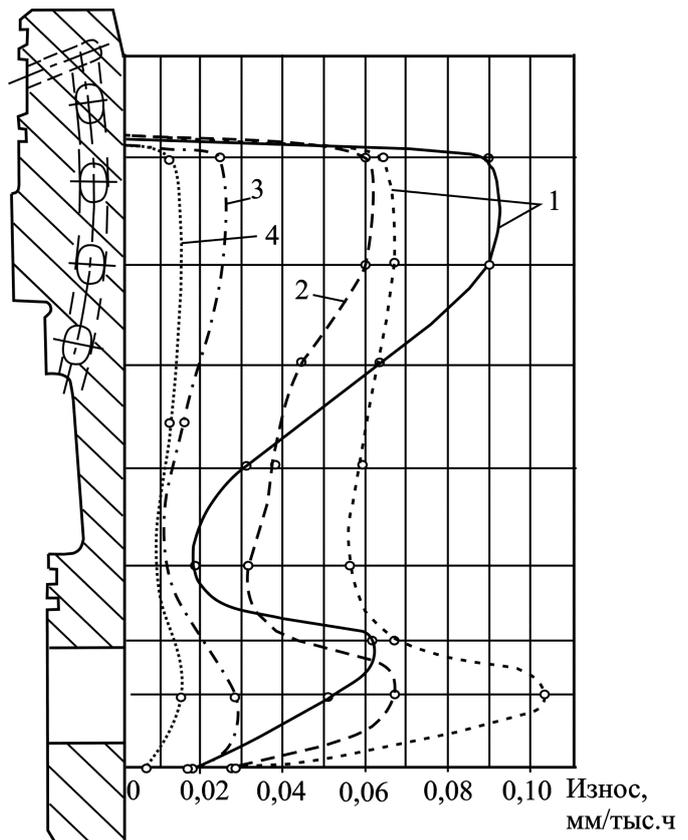


Рисунок 1 – Характер износа цилиндрических втулок по высоте в плоскости «борт-борт»: 1-л/к «Ермак» (21800 ч); 2-л/к Макаров»; 3-л/к «Капитан Хлебников» (ГД2-14500 ч; ГД6-13300 ч); 4-л/к «Капитан Хлебников» (ГД3 и ГД6-6000 ч)

тателя, износ втулок, канавок поршней, тронков и поршневых колец способствуют активизации процессов изнашивания в зоне окон, которые резко прогрессировали после наработки 12-14 тыс. ч.

Анализ особенностей конструкции втулки и условий эксплуатации главных двигателей ледокола привёл к выдвигению гипотезы о возможной тепловой перегрузке втулки в зоне окон по мере возрастания теплопереноса и прорыва газов, которые возникают при увеличении зазоров в цилиндре, канавках поршней и колец.

Для повышения работоспособности цилиндровой втулки были разработаны модернизационные мероприятия по интенсификации охлаждения зоны окон за счёт уменьшения толщины теплопередающей стенки непосредственно над окнами и установки цилиндрической проставки, формирующей направленный вращательный поток охлаждающей жидкости в полости над окнами.

Модернизация выполнена на цилиндровой втулке №11 второго главного дизель-генератора ледокола «Ермак». Данная цилиндровая втулка отработала до модернизации около 23,4 тыс. ч и имела запредельный износ в верхнем поясе: по оси цилиндров – 1,25 мм, а в плоскости «борт-борт» – 2,15 мм. Соответствующие износы в районе окон имели значения: 0,7-1,5 мм по оси цилиндров и 1,15-1,45 мм в плоскости «борт-борт» в различных сечениях.

Измерения, проведённые после модернизации втулки, показали уменьшение температуры стенки на перемычках в среднем на 15 °С (рисунок 2б), что эквивалентно уменьшению нагрузки дизеля на 30 %. Полученное в результате модернизации уменьшение температур на перемычках окон позволяет компенсировать возрастающую плотность теплового потока, возникающую из-за ухудшением состояния уплотнения в парах «втулка-поршень» и «поршневые канавки-кольца» по мере их изнашивания. Предложенные мероприятия привели также к снижению тепловой напряжённости указанных деталей в условиях резкого нагружения дизелей при работе ледокола в тяжёлых льдах.

Напряжённое состояние модернизированной втулки было рассчитано методом конечных элементов [2] с дальнейшим уточнением за счёт непосредственных тензометрических измерений в характерных точках. Учитывая осесимметричный характер нагружения втулки тепловыми и механическими силами, а так же её геометрию, задача решалась в упругой осесимметричной постановке. На рисунке 3 представлены суммарные (от сил давления газов в цилиндре и температурного поля) окружные напряжения, а на рисунке 4 – суммарные меридиональные напряжения модернизированной втулки в зоне окон.

Уровень напряжений не вызывает опасений и несущественно отличается от напряжений в штатной втулке, рассчитанных авторами ранее. Напряжения в районе проточки над окнами, благодаря удачно выбранному радиусу скругления, тоже не вызывают опасения.

Результаты расчётно-экспериментального исследования теплового и напряжённо-деформированного состояния штатной и модернизированной втулок показали правомерность и эффективность предложенной модернизации, которая позволила снизить уровень температур в районе окон, улучшить условия работы деталей ЦПГ и увеличить ресурс втул-

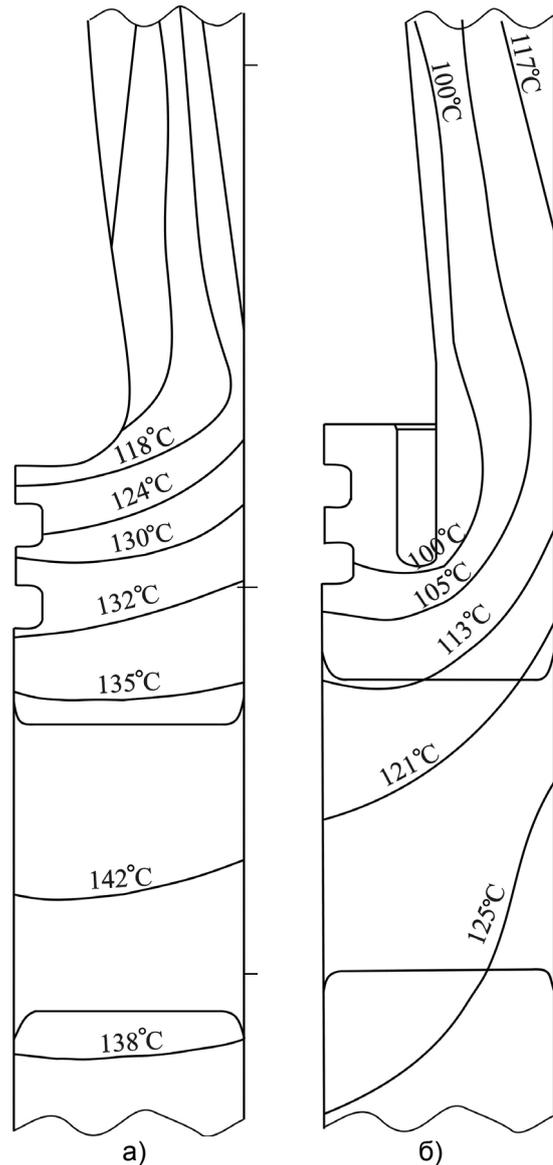


Рисунок 2 – Температурные поля втулки двигателя ЗН40/48 в зоне окон: а)-штатная; б)-модернизированная

ки и двигателя в целом. Модернизированные втулки прошли опытные испытания при эксплуатации главного двигателя 12ZH40/48 на ледоколе «Ермак» и показали хорошие результаты.

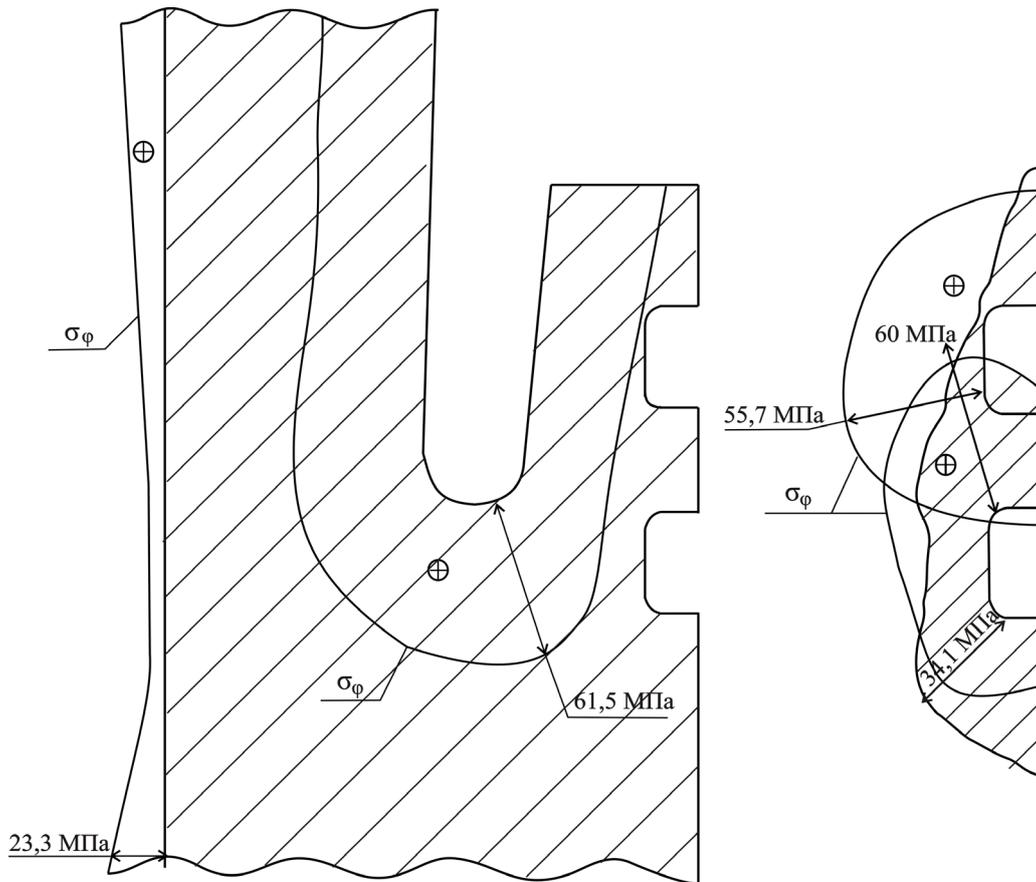


Рисунок 3 – Распределение суммарных окружных напряжений на втулке двигателя ZH40/48

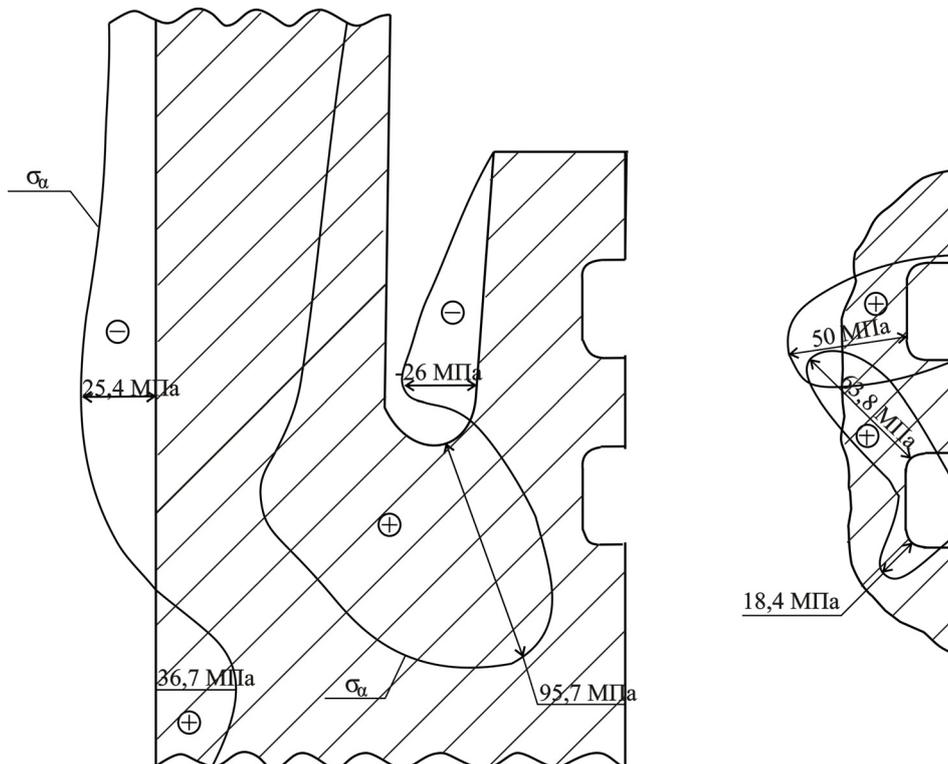


Рисунок 4 – Распределение суммарных меридиональных напряжений на втулке двигателя ZH40/48

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Камкин, С.В. О влиянии температур зеркала цилиндра на интенсивность износа втулок судовых дизелей с турбонаддувом / С.В. Камкин // Судовые силовые установки. -М., 1968. - №7. -С. 54-56.

2 Шабров, Н.Н. Метод конечных элементов в расчётах деталей тепловых двигателей / Н.Н. Шабров. -Л.: Машиностроение, 1983. -212 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *судовой двигатель, цилиндровая втулка, продувочные окна, износ, модернизация*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Кучеров Владимир Никанорович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
Флорианская Мария Васильевна, 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»*

## **ВЛИЯНИЕ УГЛОВОЙ И РАДИАЛЬНОЙ ЖЕСТКОСТЕЙ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ШАРНИРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ НА ЕГО ДИНАМИЧЕСКУЮ НАГРУЖЕННОСТЬ**

ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

**А.Ф. Вербилов, С.А. Коростелев**

### **INFLUENCE OF ANGULAR AND RADIAL STIFFNESSES OF RUBBER-METAL JOINT OF CATERPILLAR ON ITS DYNAMIC LOADING**

«Altai state technical university named I.I. Polzunov»  
A.A. Verbilov, S.A. Korostelev

The article investigates the dependence of the dynamic loading of rubber-metal joints of the caterpillar from their stiffness parameters.

*Keywords: caterpillar, rubber-metal joints, stiffness parameters*

Исследуется зависимость динамической нагруженности резино-металлических шарнирных соединений гусеничного движителя от их жесткостных параметров.

Освоение районов Сибири и Дальнего Востока затрудняется рядом причин, основными из которых являются чрезвычайно суровые климатические условия и отсутствие развитой дорожной сети. Значительная часть территории России на длительный срок устойчиво покрываются снегом. Такая длительность, устойчивость, и весьма большая глубина залегания снежного покрова является существенной особенностью климата нашей страны и оказывает большое влияние на её экономику и образ жизни населения. Одним из возможных решений транспортной проблемы этих регионов является широкое применение гусеничных вездеходных машин. При создании новых гусеничных машин необходимо обоснованно подходить к выбору рациональных параметров ходовой части на стадии проектирования, а это требует новых теоретических разработок и методов расчета.

В конструкциях современных гусеничных машин для снижения динамических нагрузок и повышения ресурса гусеничного движителя применяют силовые резиновые и резинометаллические элементы. Наибольшее распространение получила конструкция гусеничного движителя с резинометаллическими шарнирами (РМШ) с силовыми резиновыми элементами, обеспечивающими соединение траков гусеничной цепи. В таком шарнире угловое перемещение траков относительно друг друга, обеспечивается за счет деформирования резиновых элементов. Использование РМШ в гусеничном движителе позволяет, благодаря его упругим и демпфирующим характеристикам значительно снизить динамические нагрузки, действующие на элементы не только гусеничного движителя, но и на элементы трансмиссии, снизить потери мощности [1].

В настоящей работе рассматривается влияние жесткостных параметров резинометаллических шарниров на динамическую нагруженность шарнирного соединения.

Математическая модель динамического поведения гусеничного движителя описывается в виде системы нелинейных дифференциальных и алгебраических уравнений [2]

$$\begin{cases} [M]\{\ddot{q}\} + [C]\{\dot{q}\} + [K]\{f(q)\} = \{P(t)\}; \\ f(q,t) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

где  $[M], [C], [K]$  – соответственно матрицы масс, демпфирования и жесткости;

$\{\ddot{q}\}, \{\dot{q}\}, \{f(q)\}$  – соответственно векторы обобщенных ускорений, скоростей и координат элементов системы;

$\{P(t)\}$  – вектор внешнего воздействия, являющийся функцией времени;

$f(q,t)$  – алгебраические уравнения кинематических связей.

Система (1) линеаризуется по методу малого параметра. Для численного решения данной системы используется алгоритм метода временных конечных элементов [3]. Исследуемый временной процесс разбивается по времени на  $N$  шагов. На каждом шаге интегрирования вычисляются динамические перемещения и скорости элементов.

В настоящей работе гусеничный движитель рассматривается как плоская механическая система, состоящая из  $n$  элементов, соединенных между собой. Положение  $i$ -го элемента в системе определяется координатами его центра масс и углом поворота локальной системы координат элемента  $\xi_i, O_i, \eta_i$  относительно глобальной системы  $XOY$  (рисунок 1). Таким образом, в качестве обобщенных координат принимаем для каждого тела

$$q = [x, y, \varphi]^T. \quad (2)$$

связь между элементами гусеничного движителя реализуется в виде упругих, вязкоупругих соединений или абсолютно жесткого контакта. Резинометаллическое шарнирное соединение характеризуется коэффициентом радиальной и угловой жесткости ( $k$  и  $k_\varphi$ ) и коэффициентом радиального и углового демпфирования ( $c$  и  $c_\varphi$ ).

Нагруженность шарнирного соединения характеризуется динамическим растягивающим усилием  $P_\delta$ , действующим на резинометаллический шарнир со стороны звеньев. Расчёт значений динамической нагрузки на каждом шаге временного процесса производится по формуле

$$P_\delta = k \cdot \Delta e, \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент радиальной жесткости шарнира;

$\Delta e$  – взаимное смещение смежных звеньев (рисунок 2).

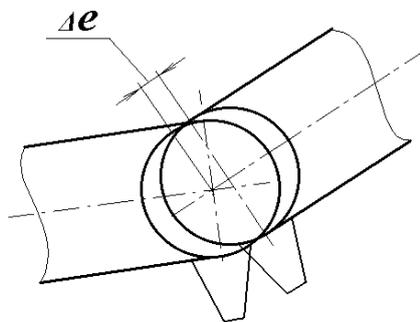


Рисунок 2 – Смещение проушин смежных звеньев в результате деформации резиновых элементов шарнира

Значение эксцентриситета вычисляется на каждом шаге временного процесса в зависимости от текущих координат смежных звеньев.

Для исследования влияния жесткостных параметров шарнирного соединения на динамическую нагруженность элементов гусеничного движителя в настоящей работе рассматривается ведущий участок гусеничного движителя сельскохозяйственного трактора (рисунок 3). Внешнее воздействие реализуется в виде крутящего момента, приложенного к ведущему колесу ( $M_{зв}$ ). Характер изменения крутящего момента приводится в работе [4].

В качестве критерия для оценки динамической нагруженности шарнирных соединений удобно принять безразмерное соотношение

$$\Psi_\delta = P_{\delta \max} / P, \quad (4)$$

где  $P_{\delta \max}$  – амплитуда динамической нагрузки;

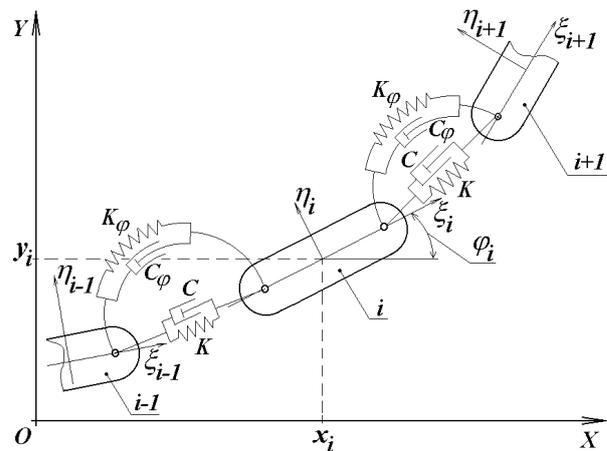


Рисунок 1 – Силовая связь между звеньями гусеничной цепи с резинометаллическими шарнирными соединениями

$P$  – текущее значение внешней нагрузки,

$$P = M_{3в} / r ;$$

$r$  – радиус ведущего колеса.

Для получения зависимости динамической нагруженности от изменения жесткостных параметров проведена последовательность численных экспериментов с помощью программы для ЭВМ [5], при этом значения радиальной жесткости изменялись в диапазоне от 7,50 до 25,00 кН/мм, а угловой от 0,000 до 3,000 кН·м/рад., что обусловлено конструктивными особенностями рассматриваемого шарнирного соединения. На каждом этапе производилось увеличение коэффициентов жесткости с определенным шагом, и вычислялась максимальная амплитуда динамической нагрузки.

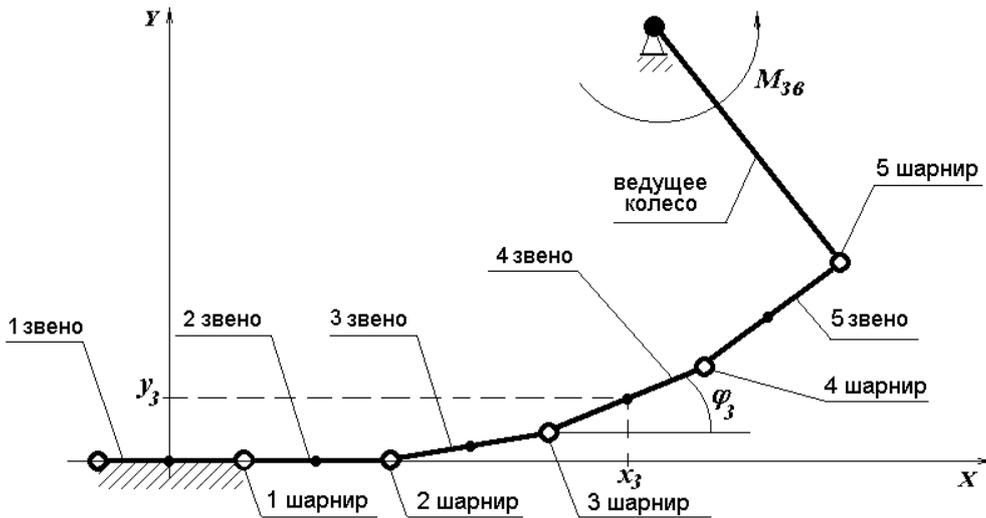


Рисунок 3 – Кинематическая схема ведущего участка гусеничного движителя

В качестве примера на рисунке 4 представлен график зависимости критерия динамической нагруженности от изменения коэффициентов радиальной и угловой жесткости для шарнира 3 (см. рисунок 3).

Анализ результатов расчета показывает, что при значениях жесткостных параметров ( $k = 14,80-15,70$  кН/мм и  $k_{\varphi} = 0,98-1,25$  кН·м/рад.) достигается значительное снижение динамической нагруженности ( $\Psi_{\sigma} = 0,96-0,99$ ), что по сравнению с существующей конструкцией ( $k = 10,00$  кН/мм,  $k_{\varphi} = 0,325$  кН·м/рад.,  $\Psi_{\sigma} = 1,15$ ) позволяет снизить динамическую нагруженность не менее чем на 16%.

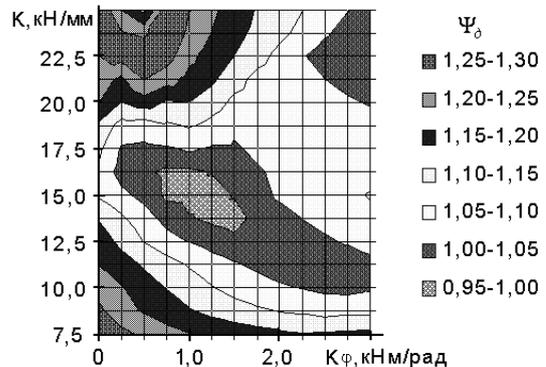


Рисунок 4 – Зависимость динамической нагруженности шарнирного соединения от изменения коэффициентов радиальной и угловой жесткости

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Дружинин, В.А. К вопросу об использовании гусениц с резинометаллическими шарнирами / В.А. Дружинин, В.А. Целищев // Совершенствование систем автомобилей, тракторов и агрегатов: сб. ст. / под ред. В.А. Дружинина / Акад. трансп. РФ, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. -Барнаул, 1999. -С. 11-18.
- 2 Дружинин, В.А. Моделирование динамического поведения гусеничного движителя трактора / В.А. Дружинин // Повышение технического уровня тракторного и сельскохозяйственного машиностроения: межвуз. сб. / Алт. политехн. ин-т. -Барнаул, 1989. -С. 36-40.
- 3 Novard, G.F. The Accuracy and Stability of Time Domain Finite Element Solution / G.F. Novard, J.E. Penny // J. of Sound and Vibration. -1978. -№61. -P. 585-595.
- 4 Дружинин, В.А. Оптимизация параметров гусеничного обвода с резинометаллически-

ми шарнирами / В.А. Дружинин, А.Ф. Вербилов // Прочность и устойчивость инженерных конструкций: межвуз. сб. / Алт. политехн. ин-т. -Барнаул, 1991. -С. 106-116.

5 Свидетельство об офиц. регистрации программы для ЭВМ №2007610029. Определение динамических нагрузок в шарнирном соединении траков гусеничной цепи (DTrak) / С.А. Коростелев, А.Ф. Вербилов, В.В. Ковалев. -Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 9 янв. 2007 г.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *гусеничный движитель, резино-металлические шарнирные соединения, жесткостные параметры*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Вербилов Алексей Федорович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «АлтГТУ»  
Коростелев Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «АлтГТУ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *656099, г. Барнаул, пр. Ленина, 46а, ГОУ ВПО «АлтГТУ»*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОЙ СХЕМЫ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ МОРСКОГО ГАЗОВОЗА**

**ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»**

**А.В. Семенюк, С.А. Гармаш**

**INCREASE OF EFFICIENCY OF THERMAL SCHEME STEAM TURBINE PLANT OF LNG CARRIER**  
**«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoy»**  
A.V. Semenyuk, S.A. Garmash

Use of water-desalinating installation with development of the electric power on the basis of an reverse electro dialysis for heightening of efficiency of the thermal circuit of ship power installation is considered.

*Keywords: thermal scheme, steam turbine plant, water-desalinating installation, reverse electro dialysis, ship power installation*

Рассматривается повышение эффективности тепловой схемы судовой энергетической установки с помощью использования опреснительной установки с выработкой электроэнергии на основе обратного электролиза.

Специально для транспортировки российского сжиженного природного газа (СПГ), который производится в рамках проекта «Сахалин-2», на верфях в Японии построены три газозова (со сферическими танками) – «Гранд Анива», «Гранд Елена» и «Гранд Мерей».

Каждое из этих судов способно принять на борт 145 тыс. м<sup>3</sup> СПГ. Их владельцами являются два российско-японских консорциума, в состав которых входят российские судоходные компании «Приморское морское пароходство» и «Совкомфлот». Эти же компании предоставляют для работы на судах российские экипажи.

В перспективе «Сахалинская энергия» планирует контролировать флот из пяти газозовов и четырех нефтетанкеров класса «Афрамекс», которые будут осуществлять поставки в страны Азии и Северную Америку. Все газозовы оснащаются паротурбинными установками (ПТУ) [1-3].

Поэтому особенно актуальным является совершенствование тепловых схем судовых ПТУ, в которых применяются опреснительные установки (ОУ) с испарителями поверхностного типа, обеспечивающие судно питьевой, мытьевой и питательной водой (для котельных агрегатов) [4]. Движение потоков воды различных концентраций в системах ОУ дает возможность применить методы прямого преобразования энергии градиентов солености в электричество [5-6].

Особенности паротурбинных установок газозовов типа «Гранд Анива», тепловая схема представлена на рисунке, рассмотрены в [7, 8].

На судне предусмотрены две вакуумные опреснительные установки WX-45M (охлаждаемая конденсатом) и EX-45E (охлаждаемая забортной водой) общей производительностью 45 т в сутки.

Обе ОУ подогревают воду в испарителях за счет тепла питательной воды, отбираемой после деаэратора, с температурой 86 °С после терморегулирующего вентиля. Каждая является полуавтономным агрегатом с собственными насосами (дистиллятным, рассольным) и воздушным эжектором, потребляющими около 10 кВт·ч на тонну дистиллята.

В результате использования энергии градиентов солености в устройстве для выработки

электроэнергии комбинированной опреснительной установки (КОУ) генерируется электрический ток, мощность которого достаточна для работы этих вспомогательных механизмов [9].

Получаемая пресная вода подается в сборники дистиллята и питьевой воды дистиллятным насосом через солемер, который при повышенном солесодержании в воде направляет ее на повторное испарение. Перед поступлением в танки питьевой воды дистиллят проходит дополнительную обработку в стерилизаторах ионами серебра.

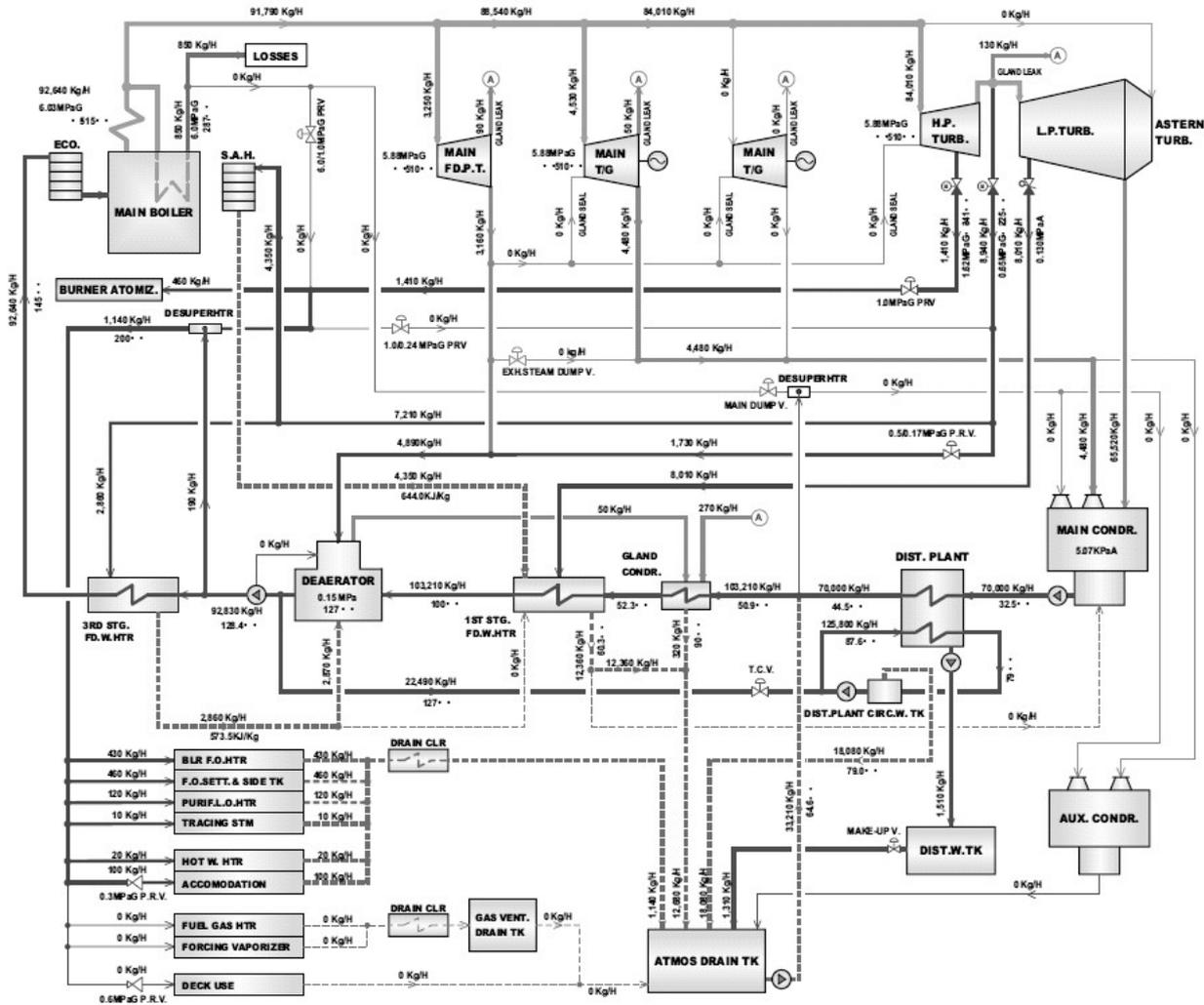


Рисунок – Тепловая схема паротурбинной установки газозова «Гранд Анива»

Следует отметить, что для предотвращения образования отложений морских микроорганизмов на судне предусмотрен хлоратор, генерирующий гипохлорит  $\text{NaOCl}$  электролизом морской воды, которая проходит в хлораторной установке между двух электродов: катода и анода, при этом затрачивается дополнительная электроэнергия. Гипохлорит впрыскивается в водозаборное устройство и кингстонные ящики. При использовании КОУ функции хлоратора может выполнять электрогенерирующее на основе обратного электролиза устройство, в котором продукты электролиза, в том числе и щелочные, образуются в электродных камерах. Они являются побочными и удаляются с помощью промывки. Направляя промывочную воду в кингстонные ящики можно также экономить энергозатраты на СЭУ, отказавшись от хлоратора.

Аналитическая оценка параметров электролизной батареи, которая должна обеспечить вырабатываемой электроэнергией собственные нужды, составляющие 10 кВт·ч/т (10 кВт мощности на тонну получаемого в час дистиллята) выполняется следующим образом.

В соответствии с материалом по повышению эффективности РЭД – установок, изложенным в [9], принимаем расстояние между мембранами  $h = 0,1$  мм, удельное сопротивление  $r_a = r_k = 1$  Ом·см<sup>2</sup>. Количество элементарных ячеек определим исходя из требуемого напряжения для приводных электродвигателей постоянного тока, которое назначим в 100 В.

Пиковая удельная мощность при продувании рассола с концентрацией 105 г/л равна 9,3 Вт/м<sup>2</sup>. Соленость пресной воды при этом – 2 г/л, а теоретическое напряжение ячейки 0,135 В. Однако, и напряжение и мощность в действительности меньше теоретических значений. Причем коэффициент использования энергии градиентов солёности в обоих случаях существенно зависит от скорости потока в ячейках батареи.

К сожалению данных экспериментальных исследований гидродинамики в ячейках между столь близко расположенными мембранами ( $h = 0,1$  мм) в печати не имеется. Но результаты опытов с более крупными ячейками показывают, что после некоторого значения скорости движения жидкости градиент роста мощности становится заметно ниже, чем в области относительно малых скоростей. В то же время гидравлические потери энергии растут значительно интенсивнее.

Например, при изменении скорости от 0,13 см/с до 0,54 см/с градиент мощности для  $h = 0,19$  мм равен 780 мВт/(см/с), а в диапазоне скоростей 0,54-1,20 см/с – всего 76 мВт/(см/с) [10].

Очевидно, что поскольку в нашем примере ширина каналов почти в два раза меньше, скорость течения величиной 0,54 см/с будет достаточно высокой, чтобы соответствовать максимальным значениям коэффициента использования мощности ( $\eta_w$  около 0,5) и коэффициента получаемого напряжения  $\eta_U = 0,8$ .

Графики, полученные по результатам экспериментов различных авторов, показывает линейную зависимость КПД от скорости течения  $w$  (м/с), причем независимо от гидравлического радиуса сечения канала. Аппроксимирующая линия подчиняется закону

$$\eta_U = 10,515w + 0,281.$$

Таким образом, требуемое напряжение 100 В может быть обеспечено батареей, составленной из 500 пар мембран (1000 ячеек) шириной 1 м, высотой 0,5 м и расстоянием между ними 0,1 мм. Размеры поперечного сечения каналов определяются из условия неразрывности потока при скорости 0,0054 м/с и расходе пресной воды 1 м<sup>3</sup>/ч через 500 каналов (половина батареи)

$$B = \frac{Q}{w \cdot h} = \frac{1}{3600 \cdot 0,0054 \cdot 0,0001 \cdot 500} = 1,0 \text{ м.}$$

С учетом того, что для разбавления пресной воды используется морская вода, имеющая большую плотность, размер  $B$  немного уменьшится. Тот же эффект достигается при увеличении производительности первой ступени испарения за счет повышения солёности выпара до 2-3 г/л.

В случаях недостаточного количества пресной воды для создания высокой скорости течения в ячейках может быть целесообразным снижение мощности и напряжения разомкнутой цепи за счет увеличения солёности пресной воды свыше 3 г/л. Компенсация такого снижения достигается установкой большего количества пар мембран и увеличением коэффициента использования ЭГС по напряжению. Это обусловлено ростом расхода, а, следовательно, и скорости раствора пресной и морской воды (с преобладанием последней).

С учетом коэффициента использования мощности  $\eta_w = 0,5$  ее плотность составит порядка 4 Вт/м<sup>2</sup> и для всей батареи  $W_6 = 1000 \times 1,0 \times 2,5 \times 4 = 10$  кВт, что достаточно для функционирования опреснительной установки заданной производительности (суммарная площадь мембран 1000 м<sup>2</sup>).

Размеры электродиализной батареи определим исходя из геометрических характеристик мембранных модулей. Так как пара мембран, толщиной по 0,1 мм и прокладка между ними (0,1 мм) составляют отсек, равный 0,2 мм общая толщина пакета из 1000 мембран равна примерно 200 мм. Габаритные размеры можно изменять, приспособив к расположению механизмов в машинном отделении, оставляя неизменными количество, площадь мембран и суммарное проходное сечение каналов, компоновкой пакетов. Кроме того, увеличивая количество мембран можно получить любое напряжение электрического тока, а повышение их суммарной площади приводит к росту мощности батареи.

При таких габаритах удельная энергия электрогенерирующего аппарата равна примерно 20 Вт·ч/кг (если она заполнена водой) и сравнима с показателями свинцовых аккумуляторов 3,0-40,0 Вт·ч/кг.

Удельная масса  $m'_6$  батареи составит 50 кг/кВт, в то время, как для среднеоборотного дизеля, который обычно применяется для привода генератора судовой электростанции, этот

показатель равен в среднем 100 кг/кВт.

Если принять удельный расход топлива на дизель-генератор равным 0,2 кг/(кВт·ч) то для определенной производительности опреснителя можно оценить экономию топлива для выработки электроэнергии в КОУ, которая оказывается достаточно ощутимой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Новые суда «Совкомфлота» // Судостроение. -2007.-№6. -С. 26-29.
- 2 Газпром Сахалин Холдингз Би.Ви [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.gazprom-sh.nl/ru/© 2003–2009>.
- 3 A balancing act as seven ships arrive [Электронный ресурс] // TradeWinds 17 October 2008. -Режим доступа: [www.tradewinds.no](http://www.tradewinds.no).
- 4 Слесаренко, В.Н. Судовые опреснительные установки / В.Н. Слесаренко, В.В. Слесаренко. -Владивосток: МГУ, 2001. -448 с.
- 5 Семенюк, А.В. Экспериментальные исследования энергетической установки на основе обратного электродиализа / А.В. Семенюк, В.В. Княжев // Материалы 8-ой международной научно-практической конференции «Проблемы транспорта Дальнего Востока» / МГУ. - Владивосток, 2009. -С. 113-115.
- 6 Семенюк, А.В. Судовая опреснительная установка с выработкой электроэнергии / А.В. Семенюк, В.В. Княжев, С.А. Гармаш // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. - 2010. -№2. -С. 340-343.
- 7 Семенюк, А.В. Специфика судов для транспортировки метана / А.В. Семенюк, С.А. Гармаш // Материалы 8-ой международной научно-практической конференции «Проблемы транспорта Дальнего Востока» / МГУ. -Владивосток, 2009. -С. 100-103.
- 8 Семенюк, А.В. Энергетические установки судов для перевозки природного газа / А.В. Семенюк, С.А. Гармаш // Вестн. МГУ. -Владивосток, 2010. -№38. -С. 45-51.
- 9 Семенюк, А.В. Комбинированная опреснительная установка с реверс-электродиализным аппаратом / А.В. Семенюк, В.В. Княжев // Тяжелое машиностроение. - 2011. -№1. -С. 35-38.
- 10 Княжев, В.В. Разработка энергосберегающей технологии на основе комбинации судовой опреснительной установки и аппарата обратного электродиализа: дис. ... канд. техн. наук / В.В. Княжев. -Владивосток, 2011. -150 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *тепловая схема, паротурбинная установка, опреснительная установка, обратный электродиализ, судовая энергетическая установка*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Семенюк Анатолий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
Гармаш Сергей 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»*

## **НОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СУДОВЫМ ТОПЛИВАМ ПО ГОСТ Р 54299-2010 «СУДОВЫЕ ТОПЛИВА. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ» И МЕТОДЫ ИХ ИСПЫТАНИЙ**

**ФГУП «Сибирский государственный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт метрологии»**

**Г.В. Шувалов**

### **NEW REQUIREMENTS TO SHIP FUELS IN ACCORDANCE WITH GOST P 54299-2010 «SHIP FUEL. SPECIFICATIONS» AND METHODS OF THEIR TESTS**

**«Siberian research institute to metrologies»  
G.V. Shuvalov**

In article new requirements to ship fuels, which normalized in again accepted GOST P 54299-2010, harmonized with the international standards on ship fuel are considered. Test methods and devices of operational control of fuels-lubricants are considered.

*Keywords: ship fuel, test methods fuels, control devices*

Рассмотрены новые требования к судовым топливам, которые нормированы во вновь принятом ГОСТ Р 54299-2010, гармонизированным с международными стандартами на судовые топлива. Рассмотрены методы испытаний и приборы эксплуатационного контроля топливо-смазочных материалов.

При бункеровке судов показатели качества топлива устанавливаются в соответствии с требованиями, которые регламентируются международными (ISO) и национальными стандартами, а также техническими условиями международных организаций.

Наиболее применяемой в морской практике в настоящее время за рубежом спецификацией является стандарт Международной Организации Стандартов (ISO) – «ISO 8217:2010. Нефтяные продукты. Топлива (класс F)», впервые утвержденный в 1987 г., а в 2010 г. он был подвергнут доработке. Кроме того, по сложившейся практике для классификации судовых топлив могут применяться также ведомственные спецификации крупных компаний.

В России в основу классификации судовых топлив положен ГОСТ 28577.2-90 «Нефтепродукты. Топлива (класс F). Классификация». Стандарт устанавливает две группы топлив D и R (D-дистиллятных топлив; R-остаточных топлив). Дальнейшая классификация топлив проводится по показателям вязкости при 100 °С, ГОСТ 28577.2-90 и технический регламент «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» устанавливает лишь наиболее общие требования к важнейшим характеристикам топлив, необходимые физико-химическим показателям регламентируют ряд дополнительных стандартов и технические условия на конкретные топлива.

Такая практика нормирования требований к судовым топливам в различных ГОСТ, ОСТ, ТУ не способствовало установлению единообразных норм к их параметрам, что учитывая многообразие судовых дизелей и конструктивные особенности топливных систем, затрудняло выбор сортов топлива.

Как показал международный опыт, внедрение и использование ISO 8217 привело к улучшению качества топлива на судах, более доверительным и открытым отношениям между покупателями и поставщиками на мировом рынке топлива для судов, что в свою очередь является важным фактором в развитии морского и речного транспорта.

В этой связи возникла необходимость перенесения международного опыта нормирования показателей судового топлива и для России. В соответствии с Программой национальной стандартизации 2010 года был разработан проект ГОСТ Р «Судовые топлива. Технические условия», который является модификацией международного стандарта ИСО 8217:2010 с учетом требований технического регламента «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту». После согласований с заинтересованными организациями ГОСТ Р 54299-2010 «Судовые топлива. Технические условия» был утвержден приказом Росстандарта от 29 декабря 2010 года №1149-ст и вводится в действие с 1 июля 2012 года.

В ГОСТ Р 54299-2010 появился ряд новых требований к свойствам дистиллятных топлив по отдельным показателям: в частности, содержание в топливе сероводорода не должно превышать 2,0 мг/кг. Кроме того, для дистиллятных топлив численно нормируется его смазывающая способность.

Стандарт более четко и жестко устанавливает требования и к остаточным топливам, так появился ряд новых требований к свойствам: в частности, нормируется расчетный углеродно-ароматический индекс (ССАИ).

Кислотное число для остаточных топлив не должно превышать 2,0 мг КОН/г для всех марок топлив; натрия, вызывающего коррозию топливной аппаратуры, должно содержаться не более 50-100 мг/кг.

Кроме того, вводятся новые нормы совместного содержания алюминия и кремния для разных марок топлив в мг/кг, не более: RMA10-25, RMB30-40, RMD80-40, RME180-50, RMG180/380/500/700-60, RMK380/500/700-60.

Вместе с тем, технический регламент «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» предъявляет обязательные требования к качеству отечественных судовых топлив в виде двух показателей, характеризующие экологические и пожароопасные свойства топлив, а именно: содержание серы и температура вспышки.

Определение температуры вспышки судовых топлив производится на основе стандартов ГОСТ Р EN ISO 2719:2002 «Нефтепродукты. Методы определения температуры вспышки в закрытом тигле Пенски-Мартенса» и стандарта ГОСТ 6356-75 «Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле». В настоящее время выпускается большое количество отечественных и зарубежных приборов для определения температуры вспышки судовых топлив. Однако большинство этих приборов устарели и нуждаются в существенной мо-

дернизации до современных требований, в том числе и по оперативности измерений. Одним из решений этой задачи может быть уменьшение объема испытуемого нефтепродукта, что позволяет уменьшить время определения температуры вспышки. Кроме того, уменьшение объемов топлива, смазочных и моторных масел при проведении экспресс-диагностики обеспечит существенную экономию нефтепродуктов [2].

С целью разработки экспресс-метода анализа были проведены экспериментальные исследования температуры вспышки нефтепродуктов, в результате которых было установлено, что на точность определения температуры вспышки основное влияние оказывает скорости нагрева пробы нефтепродукта (рисунок).

Наиболее вероятной причиной этого влияния могут быть конвективные процессы теплообмена в жидком нефтепродукте. Указанные особенности были учтены при разработке прибора для определения температуры вспышки нефтяных топлив СИМ-5.

Определение содержания серы в судовом топливе проводится по ГОСТ Р 51947-2002 «Нефть и нефтепродукты. Определение серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектрометрии» или ГОСТ 19121-73 «Метод определения содержания серы сжиганием в лампе».

Ламповый метод определения серы по ГОСТ 19121-73 является одним из основных методов определения содержания серы в органических материалах и заключается в сжигании пробы материала с последующим определением образующегося сернистого ангидрида  $SO_2$ . В [3] предложено для увеличения чувствительности измерять электропроводность образовавшейся серной кислоты, поэтому кондуктометрический метод оказался перспективным для определения содержания серы. Была разработана методика определения серы в нефтепродуктах с использованием кондуктометрического метода, а также прибор с использованием этого метода [4].

В таблице приведены параметры приборов, которые могут применяться для подтверждения параметров судовых топлив, которые изготавливаются в Сибирском научно-исследовательском институте метрологии.

Таблица – Приборы для измерения параметров судовых топлив

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерения	Пределы допускаемой погрешности	Наименование средства измерения
Измерение температуры вспышки, °С (дизтопливо и масла)	20-200 100-300	±5 абс.	Анализатор СИМ-5
Измерение содержания серы в нефтепродуктах, %	0,01-2,00	15 отн.	Анализатор СИМ-6

Указанные приборы прошли государственные испытания и утверждены Росстандартом в качестве средств измерений. В них реализованы стандартные методы испытаний нефтепродуктов, изложенные в стандартах ГОСТ 6356-75 и ГОСТ 19121-73.

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1 Вводимый в действие с 1 июля 2012 года ГОСТ Р 54299-2010 «Судовые топлива. Технические условия» устанавливает новые требования к параметрам судовых топлив.

2 Технический регламент «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» предъявляет требования к качеству отечественных судовых топлив в виде двух обязательных показателей, характеризующие экологические и пожароопасные свойства топлив, а именно, содержание серы и температура вспышки, определение которых может производиться на основе российских стандартов ГОСТ 6356-75 и ГОСТ 19121-73

3 Для подтверждения параметров судовых топлив по показателям содержание серы и температура вспышки можно эффективно использовать анализаторы СИМ-5 и СИМ-6.

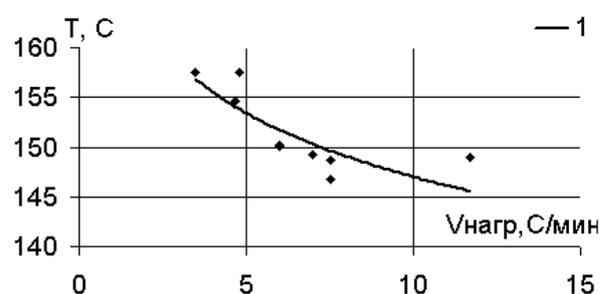


Рисунок – Зависимость температуры вспышки нефтепродукта от скорости его нагрева

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Топлива отечественные и зарубежные для судов флота рыбной промышленности. Номенклатура. Порядок назначения и применения: РД 15.136-90. -Клайпеда, 1992.

2 Экономия горюче-смазочных материалов при работе двигателей внутреннего сгорания / Г.В. Шувалов [и др.] // Сиб. науч. вестн. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2003. -Вып.VI. -С. 49-52.

3 Шувалов, Г.В. Прибор для определения соединений серы в нефтепродуктах / Г.В. Шувалов // Материалы 6 международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2002»: сб. тр. -Новосибирск, 2002. -Т.3. -С. 135-137.

4 Шувалов, Г.В. Опыт практического применения анализаторов СИМ-6 для определения серы в нефтепродуктах / Г.В. Шувалов // Материалы 6 международной выставки и научного конгресса «ГЕО-Сибирь -2010»: сб. тр. -Новосибирск, 2010. -Т.5, ч.2. -С. 155-158.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** судовые топлива, методы испытаний топлив, приборы контроля  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, заместитель директора по научной работе ФГУП «СНИИМ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630004, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТОПЛИВОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ГЛАВНЫХ ДИЗЕЛЕЙ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ**

**ФГОУ ВПО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет»**

**К.Н. Ефимов, В.В. Маницын**

**PREPARATION DEVELOPMENT OF OIL FUEL FOR MAIN ENGINES AND AUXILIARY STEAM-BOILERS**  
«Far Eastern state technical fisheries university»  
K.N. Efimov, V.V. Manitsin

There is considering the feasible techniques of fuel preparing effectiveness growth for main engines and auxiliary steam-boilers by using nano-technologies.

*Keywords: fuel preparing, main engine, auxiliary steam-boiler, nano-technologies, ecology, fuel economy*

Рассматриваются возможные варианты повышения эффективности топливоподготовки для главных дизелей и вспомогательных паровых котлов на основе нанотехнологий.

В связи с повышением цены на топливо, судовладельцы начинают искать пути и возможности использовать более дешевое топливо, не нарушая экологических требований, которые становятся жёстче к защите окружающей среды от вредных выбросов с выпускными газами главных дизелей (ГД) и вспомогательных паровых котлов (ВПК).

Для совершенствования топливоподготовки для ГД и ВПК, предлагаем использовать кавитационно-гидродинамическую установку типа УКГ для приготовления топлива с применением nano технологий.

Предлагаем два варианта совершенствования топливоподготовки для ГД и ВПК.

Первый вариант – приготовление измельчённого топлива из мазута с новыми свойствами и характеристиками на кавитационно-гидродинамической установке.

Для того чтобы разжечь костёр, вы расщепляете крупное полено на мелкие щепки, которые очень быстро разгораются, при этом дают яркое пламя и отсутствие дыма. Если аналогично полена перенести на жидкое топливо, то «щепками» являются светлые лёгкие дизельные топлива, а размерный ряд «поленьев» представляют мазуты. Поэтому при нормальных условиях дизельного топлива сгорает около 93-95%, а тяжёлого мазута 80-85% [1]. Как известно, основная часть тяжёлых мазутов обладает крепкими молекулярными связями и состоит из крупных составляющих размером до 500 мкм. Кавитационно-гидродинамическая установка (УКГ) способна превратить 500 мкм «поленья» мазута в мазутные «щепки» со средним размером 2-3 мкм, имеющие более слабые молекулярные связи, способствующие лёгкому распаду на более мелкие частицы при их сгорании после распыла форсункой.

После обработки топлива (мазута или их смесей) на установке типа УКГ, в результате

физико-химических и структурных преобразований на молекулярном уровне получается измельчённое топливо с необходимыми свойствами и характеристиками:

- уменьшение вязкости;
- повышение текучести;
- понижение температуры застывания;
- понижение температуры вспышки;
- более качественный распыл и более полное сгорание топлива и как следствие сокращение количества вредных выбросов с выпускными газами;
- сохранение, изменённых после установки УКГ, свойств и качества приготовленного топлива при длительном хранении.

Приведённые характеристики и свойства топлива дают возможность перевести ГД и ВПК на более тяжёлые сорта топлива, решая одновременно экономические и экологические задачи.

Второй вариант – приготовление топлива в виде водомазутной эмульсии с помощью кавитационно-гидродинамической установки.

Попытки внедрения на судах в 80-х годах топлива в виде водомазутных эмульсий для ГД и ВПК были временно прекращены по причине отсутствия оборудования способного готовить водомазутную эмульсию необходимого качества. Водомазутная эмульсия низкого качества оказывала негативное воздействие на детали цилиндрико-поршневой группы и топливной аппаратуры. Применяемые на тот период времени технические средства и устройства не имели возможности создать стойких, стабильных, мелкодисперсных водомазутных эмульсий, в конечном итоге через непродолжительное время вода отстаивалась. В результате использования такой эмульсии получаемая экономия топлива в пределах 4-10% сводилась на нуль преждевременным износом деталей цилиндрико-поршневой группы и топливной аппаратуры [2, 3], а это сопровождалось отказами и самопроизвольными остановками ГД и ВПК.

Прошло время, появились новые технологии и новая техника, а рост цен на нефтепродукты ускорил поиск путей их экономии, поэтому вернулись к теме использования топлива в виде водомазутных эмульсий, но уже на новом научном и техническом уровне.

С целью проверки качества подготовки водомазутной эмульсии на установке типа УКГ и его использования на ГД и ВПК авторами были проведены испытания по программе одобренной Российским морским регистром судоходства [4]. Проведённые испытания подтвердили вышеприведённые технические, экономические и экологические возможности установок подготовки топлива типа УКГ. Из водомазутной эмульсии приготовленной на установке типа УКГ, топливный центробежный сепаратор не способен удалить частицы воды. Это значит, что их размер соответствует стандарту очистной способности топливных сепараторов и находится в пределах менее пяти микрон, что является безопасным для цилиндрико-поршневой группы и топливной аппаратуры. Сгорание водомазутной эмульсии такого качества не наносит ущерба судовым дизелям и котлам, что подтверждают наблюдения и осмотры, а экономия топлива становится реальной.

Полученная мелкодисперсная водомазутная эмульсия способна оставаться стабильной и сохранять свои свойства длительное время при замораживании и нагревании до 80 °С.

Основная экономия от использования измельчённого топлива с новыми свойствами и водомазутных эмульсий, получаемых на установке типа УКГ:

- перевод ГД и ВПК на дешёвое измельчённое топливо и смеси;
- более полное сгорание измельчённого топлива;
- ещё более полное сгорание топлива при его сжигании в виде водомазутной эмульсии.

Дополнительная экономия – использование отработанных масел, нефтеостатков и жидких топливных шламов после сепаратора льяльных вод, сепараторов топлива, в виде топлива для ВПК путём их ограниченного добавления, в приготавливаемые на основе мазута, смеси и эмульсии. При этом паровой котёл совместно с установкой типа УКГ может рассматриваться как утилизатор жидких нефтеостатков по линии МАРПОЛ-73/78.

Косвенная экономия – сокращение количества шламов после сепараторов топлива, сокращение расходов на подогрев топлива, увеличение сроков между чистками элементов газовыпускных трактов ГД и ВПК, сепараторов топлива, расходных и отстойных цистерн, сокращение расходов при сдаче на берег отработанных масел для их утилизации. Повышение КПД вспомогательного и утилизационного котлов за счёт частичного или полного прекращения нагарообразования поверхностей нагрева, наличие возможности смешивания при по-

мощи установки УКГ не смешиваемых в обычных условиях сортов жидких топлив.

При этом, за счёт более полного сгорания топлива, достигается сокращение вредных выбросов с выпускными газами: несгоревших углеводородов в 2-3 раза, окислов азота в 1,5-2,0 раза, сажи до 80% при условии значительной экономии топлива до 10%.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Пахомов, Ю.А. Топливо и топливные системы судовых дизелей / Ю.А. Пахомов, Ю.П. Коробков. -М.: РКонсульт, 2004. -С. 28-30.

2 Лерман, Е.Ю. Высококцентрированные водотопливные эмульсии эффективное средство улучшения экологических показателей легких быстроходных дизелей / Е.Ю. Лерман, О.А. Гладков // Двигателестроение. -1986. -№10. -С. 35-37.

3 Исследование эффективности применения водотопливных эмульсий в среднеоборотных судовых двигателях: отчет о НИР: 51/72 / Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп.; рук. О.Н. Лебедев. -Новосибирск, 1974. -12 с.

4 Протокол испытаний работы судового дизеля 6ДКРН45/120 и судового вспомогательного котла КАВ 2,5/7 на водотопливной эмульсии на т/х «Коммунары Николаева». -2007. -6 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *топливopодготовка, главный дизель, вспомогательный паровой котел, нанотехнология, экология, экономия топлива*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Ефимов Константин Николаевич, аспирант ФГОУ ВПО «Дальрыбвтуз» Маницын Владимир Владимирович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «Дальрыбвтуз»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *690087, г. Владивосток, ул. Луговая, ГСП, 52б, ФГОУ ВПО «Дальрыбвтуз»*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ В ДИЗЕЛЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ МОТОРНОГО МАСЛА КОМБИНИРОВАННОЙ ФИЛЬТРОВАНИЕМ

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

**Н.Н. Таращан**

**SIMULATION IN DIESEL ENGINE OF THE EFFICIENCY OF MOTOR OIL CLEANING BY A COMBINED FILTRATION**  
«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoy»  
N.N. Taraschan

The results of simulation in the 2Ч10,5/13 diesel of the efficiency of the cleaning of lubricating oil with a combination of full-flow and by-pass filtration are presented. An effect of fine ridding and intensity of motor oil cleaning in the lubricant system of the diesel engine on its wear-and tear

*Keywords: simulation, filtration, combined oil cleaning, lubricant system, diesel engine*

Приведены результаты моделирования в дизеле 2Ч10,5/13 эффективности очистки смазочного масла комбинированием полнопоточного и байпасного фильтрования. Показано влияние тонкости отсева и интенсивности очистки моторного масла в смазочной системе дизеля на его изнашивание.

Анализ эффективности полнопоточных фильтров тонкой очистки моторного масла (ММ) в судовых форсированных дизелях показал, что она недостаточна для обеспечения высоких ресурсных показателей ДВС при работе на низкосортных топливах. В этом случае, особенно при сжигании высокосернистых топлив, необходимо использовать моторные масла, имеющие большой запас моющее-диспергирующих и нейтрализующих свойств. Очистку последних проводят комбинированием полнопоточного фильтрования и частично поточного (байпасного) центрифугирования [1].

Удаление продуктов срабатывания зольных присадок и мелкодисперсных частиц изнашивания дизеля, являющихся катализаторами окисления масла, возлагается на центрифугу, что способствует увеличению его срока службы и снижает изнашивание дизеля, особенно компрессионных и маслоъемных колец.

При низких давлениях масла в системе смазки ( $p_M < 0,4$  МПа) интенсивность его центрифугирования не достаточна, так как очиститель с реактивным гидравлическим приводом не развивает требуемой частоты вращения. Его фактор разделения низкий и не достаточный для глубокой очистки ММ. Дополнительное центрифугирование особенно не эффективно.

но при низких давлениях в системе смазки, что характерно при работе двигателя на винт, частых пусках непрогретого дизеля, длительной его эксплуатации на переходных и низкотемпературных (по маслу) режимах, применении ММ с беззольными присадками и интенсивном шламообразовании в картере двигателя.

Для таких условий функционирования предпочтительна комбинированная очистка ММ фильтрованием [2], сочетающая достоинства полнопоточной схемы для надежной защиты трибосопряжений ДВС от опасных вызывающих абразивное изнашивание крупных частиц механических примесей и глубокой очистки масла от мелкодисперсных нерастворимых примесей – катализаторов его окисления. Основные принципы комбинированного фильтрования изложены в работе [2]. Однако рекомендаций по выбору его параметров нет. Поэтому представляет интерес определение номинальной тонкости отсева полнопоточного фильтра для надежной защиты пар трения дизеля от абразивного изнашивания и интенсивности дополнительного байпасного фильтрования, обеспечивающего требуемую глубину очистки масла от мелкодисперсных нерастворимых примесей.

Оценка моторной эффективности комбинированной очистки ММ фильтрованием осуществлялось по критерию изнашивания дизеля. Эксперимент осуществлялся при оснащении системы смазки стендового дизеля 2Ч10,5/13 частично- и полнопоточным фильтрами. Испытания вели на масле М10Г<sub>2</sub>(ЦС) (ГОСТ 12387-84) этапами по 100 ч. Использовали полнопоточный фильтр со сменными фильтрующими элементами (ФЭ) с фильтрующей перегородкой в форме звезды из нетканого материала с номинальной тонкостью отсева  $\Delta_n = 15-45$  мкм. Байпасно подключенный фильтр имел начальную подачу, составляющую 12% от потока масла во внутреннюю смазочную систему двигателя. Интенсивность очистки его регулировалась объемом (поверхностью) ФЭ и основными характеристиками, влияющими на полноту отсева [1, 2]. Для байпасного фильтрования подобраны ФЭ, обеспечивающие интенсивность очистки  $Q_{фч} \rho_{фч} = 10-100$  г/ч на естественном загрязнителе (гомогенизированных нерастворимых продуктах (НРП) сепарирования масла в форсированном дизеле).

Оценку износа дизеля (%) осуществляли за 100 ч его работы по интегральному показателю относительно износа на базовом этапе по следующим деталям: цилиндрическим втулкам, поршневым кольцам и вкладышам мотылевых подшипников. Весомость изнашивания каждой детали принимали одинаковой. Износ цилиндрических втулок согласно рекомендациям ОСТ 24.060.082-89 определяли методом искусственных баз (прибор УПОИ-6), поршневых колец и вкладышей – взвешиванием на аналитических весах ВЛА-200.

Эксперимент вели циклами по 10 ч. В течение каждого осуществляли пуск дизеля из холодного состояния и ступенчато его нагружали до мощности 25-110% от номинальной. Дизель работал по нагрузочной характеристике. Для ускорения износных испытаний в картерное масло со скоростью 1,5 г/ч вводили гомогенизированные нерастворимые продукты выше указанного естественного загрязнителя. Долив масла для компенсации его угара, который составлял 30-35 г/ч, осуществляли в конце каждого цикла.

Моторный стенд с дизелем 2Ч10,5/13 ( $P_e = 15$  кВт,  $n_n = 25$  с<sup>-1</sup>,  $G_0 = 8$  л) был оснащен нагрузочным и дозирующим подачу загрязнителя устройствами и аппаратурой контроля рабочего процесса дизеля и угара масла. Использовали топливо Л-0,2-61 (ГОСТ 305-82). Температура масла в картере при пуске дизеля составляла 18-25 °С. На работающем двигателе она соответствовала 65-70 °С.

Для испытания комбинированной очистки ММ была выбрана схема смазочной системы со сбросом масла в картер в конце распределительной магистрали, то есть после полнопоточного фильтра. Такое включение очистителя создает самые «жесткие» условия функционирования фильтра, когда через него проходит повышенный поток масла.

Моторный эксперимент осуществляли с использованием ортогонального центрального композиционного плана второго порядка. Уровни и интервалы варьирования факторов комбинированного фильтрования при очистке ММ приведены в таблице 1. Рангом 0 закодирован полнопоточный масляный фильтр с номинальной тонкостью отсева 30 мкм. Тонкости отсева 15 и 45 мкм присвоены соответственно ранги (-1) и (+1).

Интенсивность отсева ФЭ частично поточного фильтра, обеспечивающего глубокую очистку масла от НРП, для ранга 0 задана в относительных единицах цифрой  $g_\phi = 40$ . Этот показатель в безразмерном виде представляет отношение интенсивности очистки  $Q_{фч} \rho_{фч} = 60$  г/ч байпасно подключенного фильтра к скорости НРП  $\alpha = 1,5$  г/ч искусственного

загрязнения масла. Относительная интенсивность очистки, закодированная знаками (-1) и (+1) соответствует значениям 0 и 80, то есть при ранге (-1) частично поточный фильтр отключается, а при (+1) его показатель  $g_{\phi}$  удваивался.

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Кодовое значение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			нижний (-1)	основной (0)	верхний (+1)
Номинальная толщина очистки $\Delta_n$ , мкм	$x_1$	15	15	30	45
Удельная интенсивность очистки $g_{\phi}$ , отн. ед.	$x_2$	40	0	40	80

Матрица ортогонального планирования с обработкой полученных результатов эксперимента приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица ортогонального композиционного плана второго порядка для двух факторов

Содержание плана	№ опыта	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	$x_1^2(x_2')$	$x_2^2(x_1')$	$y_i$	$\hat{y}_i$	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
План типа $2^2$	1	+	+	+	+	+(+1/3)	+(+1/3)	173	168	25
	2	+	-	+	-	+(+1/3)	+(+1/3)	73	77	16
	3	+	+	-	-	+(+1/3)	+(+1/3)	235	230	25
	4	+	-	-	+	+(+1/3)	+(+1/3)	222	229	49
«Звездные» точки с планом $\alpha = 1$	5	+	+	0	0	$\alpha^2(+1/3)$	$0(-2/3)$	178	169	81
	6	+	-	0	0	$\alpha^2(+1/3)$	$0(-2/3)$	121	127	36
	7	+	0	+	0	$0(-2/3)$	$\alpha^2(+1/3)$	74	79	25
	8	+	0	-	0	$0(-2/3)$	$\alpha^2(+1/3)$	179	171	64
Нулевая точка	9	+	0	0	0	$0(-2/3)$	$0(-2/3)$	99	100	16
								96		
								105		
Коэффициенты	$b'_0$	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_{12}$	$b_{11}$	$b_{22}$	$s_E = \sum_{i=1}^3 (y_i - \hat{y}_i)^2 = 42$		
	150*	100	28,2	-52,7	21,4	49,6	26,1	$s_R = \sum_{j=1}^9 (y_j - \hat{y}_j)^2 = 337$		

\*-значение  $b'_0$  при представлении вместо  $x_1^2$  и  $x_2^2$  преобразованной переменной  $x_1' = x_1^2 - (2/3)$ ;  $x_2' = x_2^2 - (2/3)$ . Переход к обычной форме записи осуществляется расчетом  $b_0 = b'_0 - (2/3)(b_{11} + b_{12})$

Ортогонализация экспериментальных данных достигнута выбором «звездного» плана с преобразованием квадратичных членов уравнения по рекомендациям [3]. Число опытов в центре плана равнялось трем, которые обрабатывались и осреднялись автономно. Они в разработанном плане (таблица 2) для достижения ортогональности при величине «звездного» плана  $\alpha = 1$  представлены 9 опытом. Величина износа в нулевой точке принята за базу отсчета (100%). Относительно него фиксировался износ  $I$  в других опытах.

Благодаря ортогональности матрицы планирования коэффициенты регрессии и их дисперсности определялись независимо друг от друга по формулам [3]

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^9 x_{ij} y_j}{\sum_{j=1}^9 x_{ij}^2}; \quad s^2\{b_i\} = \frac{s_y^2}{\sum_{j=1}^9 x_{ij}^2},$$

где  $i$  – номер столбца матрицы;  
 $j$  – номер опыта;  
 $x_{ij}$  – элементы соответствующего столбца матрицы;  
 $y_j$  – значение параметра функции отклика в  $j$ -м опыте.

Рассчитанные значения коэффициентов полинома второй степени (уравнения изнашивания при представлении факторов в безразмерном виде) приведены в нижней части таблицы 2.

По результатам опытов в центре плана (в таблице 2 они не показаны) была вычислена

дисперсия  $s_y^2$  воспроизводимости эксперимента

$$s_y^2 = \frac{s_E}{n_0 - 1} = \frac{42}{3 - 1} = \frac{42}{2} = 21,$$

где  $n_0$  – число опытов в нулевой точке.

Через ее значение по выражению для  $s^2\{b_i\}$  определены дисперсии и доверительные интервалы коэффициентов регрессии. Так как абсолютные величины коэффициентов оказались больше значений их доверительного интервала, то они все статистически значимы.

Дисперсию  $s_{a_0}^2$  находим по следующему выражению

$$s_{a_0}^2 = \frac{s_R}{N - (k + 1)} = \frac{337}{9 - (2 + 1)} = \frac{337}{6} = 56,2,$$

где  $N$  – число опытов;

$k$  – число факторов.

Проверку адекватности полученной модели проводили по F-критерию Фишера. Так как расчетный критерий

$$F_p = \frac{s_{a_0}^2}{s_y^2} = \frac{56,2}{22} = 2,7,$$

при 5%-ном уровне значимости и числе степеней свободы 2 и 6 оказался ниже табличного ( $F_m = 19,3$ ), то полученная модель адекватно описывает влияние факторов  $x_1$  и  $x_2$  на износ  $I$  дизеля.

Анализ коэффициентов модели (см. таблицу 2) показывает, что наибольшее влияние на износ дизеля оказывает фактор  $x_2$  ( $b_2 = 52,7$ ). При увеличении интенсивности очистки (фактора  $x_2$ ) износ уменьшается. Некоторое торможение этому процессу оказывает эффект взаимодействия с фактором  $x_1$  ( $b_{12} = 21,4$ ). Замедление снижения износа при увеличении  $x_2$  проявляется также через квадратичный член ( $b_{22} = 26,1$ ). Это указывает на то, что по мере увеличения  $x_2$  может наступить момент, когда этот фактор перестает влиять на  $I$ .

Несколько меньшее действие на  $I$  оказывает фактор  $x_1$ . С его уменьшением ( $b_1 = 28,2$ ) износ дизеля падает. Значительное торможение этому явлению проявляется через квадратичный член ( $b_{11} = 49,6$ ). Может оказаться, что при некоторых значениях  $x_1$  снижение этого показателя приведет к увеличению  $I$ .

Перевод факторов в натуральное выражение позволяет модель изнашивания представить в следующем виде

$$I = 258,2 - 12,77\Delta_n - 1,057g_\varphi + 0,03567\Delta_n g_\varphi + 0,2204\Delta_n^2 + 0,0163g_\varphi^2. \quad (1)$$

Взяв в уравнении (1) первых производных  $dI/d\Delta_n$ ,  $dI/dg_\varphi$  и приравняв их к нулю позволило определить экстремумы полученной зависимости.

Оптимальная толщина отсева, при которой износ минимален определяется по формуле

$$\Delta_{opt} = 28,97 - 0,08092g_\varphi. \quad (2)$$

Ее анализ показывает, что со снижением тонкости отсева  $\Delta_n$  полнопоточного фильтра и увеличением интенсивности  $g_\varphi$  частично поточной очистки до некоторых пределов изнашивание  $I$  дизеля уменьшается.

Наличие оптимальной тонкости отсева вызвано тем, что при уменьшении этого показателя ниже 26 мкм ( $g_\varphi = 40$ ) не приводит (рисунок) к снижению износа двигателя. Несмотря на увеличение качества очистки, такое явление объясняется тем, что из-за более интенсивной блокировки пор фильтровального материала загрязнениями при  $\Delta_n < \Delta_{opt}$  предохранительный клапан фильтра чаще открывается и более продолжительное время работает с перепуском неочищенного масла мимо очистителя. Яркая фиксация такого явления обусловлена более жесткими режимами испытания комбинированного маслоочистительного комплекса: искусственным загрязнением масла с высокой долей крупнодисперсной фазы НРП и увеличенной подачей масла на фильтр в связи с установкой переливного клапана системы смазки за фильтром.

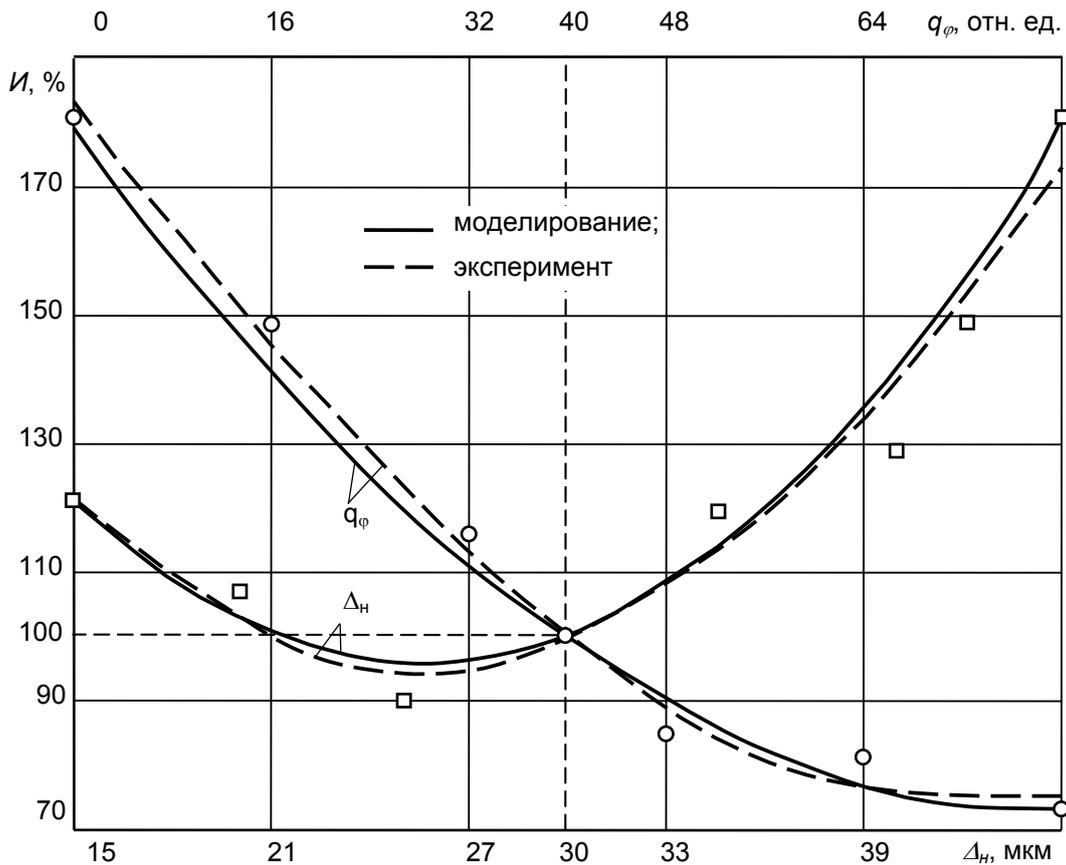


Рисунок – Влияние тонкости полнопоточного и интенсивности байпасного фильтрования моторного масла на изнашивание дизеля

Увеличение грязевой нагрузки на полнопоточный фильтр при отключении частично поточного очистителя ( $g_\phi = 0$ ) приводит к увеличению  $\Delta_{opt}$  до 29 мкм. Интенсификация очистки байпасным фильтрованием ( $g_\phi = 80$ ) снижает  $\Delta_{opt}$  до 22 мкм.

По мере увеличения  $g_\phi$  износ двигателя уменьшается. При  $g_\phi > 60$  ( $\Delta_n = 30$  мкм) действие этого фактора замедляется. Оптимальные значения  $(g_\phi)_{opt}$ , при которой износ минимален для большинства значений  $\Delta_n$ , находятся на границ экспериментального поля и за его пределами. Наличие минимума в функции  $I(g_\phi)$  вызвано особенностями моделирования эксперимента полиномом второй степени. Как показали судовые испытания, повышение  $g_\phi$  более 80 не вызывает значительного уменьшения износа.

Проверка эффективности комбинированной тонкой очистки ММ в судовых дизелях показала рациональность сочетания частично- и полнопоточного фильтрования. Их применение особенно эффективно при удельной скорости загрязнения масла НРП более 0,05 г/(кВт·ч), давлении в системе смазки ниже 0,4 МПа, работе дизеля с низкой нагрузкой и высокой долей низкотемпературных режимов смазки на маслах групп Г<sub>2</sub>, Д<sub>2</sub>, особенно легированных мало- и беззольными присадками. В большинстве случаев эта система очистки ММ по эффективности равноценна системе, сочетающей фильтрование и центрифугирование [1].

Моделирование показало, что полнопоточная тонкая очистка масла в форсированных дизелях должна проводиться с номинальной тонкостью отсева 20-30 мкм, что обеспечит достаточно высокую защиту их пар трения от опасных частиц механических примесей.

Долгорботающий режим использования ММ со сменой их по браковочным показателям при минимизации скорости старения по основным направлениям достигается дополнительным частично поточным фильтрованием с удельной (по отношению к скорости загрязнения масла НРП) интенсивностью очистки 20-60. При этом тонкость отсева байпасно подключена фильтров не играет решающего значения. Тип (объемные, поверхностные) ФЭ и поровая структура фильтровальных материалов, их абсорбционная активность, начальная скорость

фильтрации должны выбираться для конкретного масла и направлений его старения из условий обеспечения самой высокой полноты отсева [1, 4].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кича, Г.П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин. -Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. -372 с.

2 Таращан, Н.Н. Тонкая очистка моторного масла в дизелях комбинированным фильтрованием / Н.Н. Таращан, А.В. Голенищев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№1. -С. 218-223.

3 Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. -М.: Машиностроение, 1981. -184 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** моделирование, фильтрование, комбинированная очистка масла, система смазки, дизель  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Таращан Николай Николаевич, 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»

## **ВЛИЯНИЕ ПОДАЧИ СПЕЦИАЛЬНОГО РАСТВОРА НА ВПУСКЕ В НЕЙТРАЛИЗАТОР НА КАЧЕСТВО ОЧИСТКИ ГАЗОВ ДИЗЕЛЯ**

ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

**Г.В. Медведев, А.А. Новоселов, А.А. Мельберт**

**THE INFLUENCE OF SPECIAL SOLUTION SUPPLY ON DIESEL EXHAUST GASES CLEANING**  
«Altai state technical university named I.I. Polzunov»  
G.V. Medvedev, A.A. Novoselov, A.A. Melbert

The results of influence of special solution at catalyst converter inlet on efficiency of exhaust gases cleaning in porous penetrable SHS catalyst filters are examined.

*Keywords: converter, solution, inlet, ammonia, ethyleneglycol, diesel, exhaust, gases*

Приведены результаты исследований по подаче специального раствора на впуске в нейтрализатор, на эффективность очистки отработавших газов в пористых проницаемых СВС – каталитических фильтрах.

При организации селективной очистки газов в каталитических нейтрализаторах, в целях повышения эффективности, осуществляется подача специальных жидкостей в зависимости от поставленных целей. Место подачи жидкостей также назначается исходя из целей, представлении о физико-химических процессах в отдельных зонах реактора. Подача растворов на впуске в каталитические нейтрализаторы - один из достижимых путей повышения эффективности очистки отработавших газов (ОГ) от вредных компонентов.

В АлтГТУ им. И.И. Ползунова, в целях увеличения сроков между регенерацией каталитических фильтров нейтрализаторов, полученных с применением технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), повышения качества очистки газов предложено применение раствора  $\text{CuCl}_2 + \text{NaCl}$  в 90% этиленгликоля и 10% нашатырного спирта [1].

Раствор подавался на впуске в каталитический нейтрализатор, его расход дозировался в зависимости от величины противодавления, создаваемого каталитическими фильтрами.

Подача раствора названного выше в реактор перед блоком восстановления  $\text{NO}_x$  на качество очистки отработавших газов дизелей в каталитических нейтрализаторах с пористыми проницаемыми блоками СВС – блоками не рассматривалось не одним из авторов, занимающихся проблемами повышения качества очистки отработавших газов. Нет опубликованных материалов, раскрывающих влияние  $\text{CuCl}_2$  и  $\text{NaCl}$  на качество очистки отработавших газов дизелей в каталитических нейтрализаторах, тем более, содержащих пористые проницаемые СВС – блоки. По-видимому это объясняется тем, что создатели каталитических нейтрализаторов стараются не усложнять конструкцию и использовать зарекомендовавшие себя разработки.

Опытным путем на макете реактора была подобрана дозировка раствора, подаваемого в нейтрализатор, при температуре отработавших газов 833 К. Достаточной оказалась дозировка раствора в количестве 1,4-1,5 г/м<sup>3</sup> отработавших газов.

Воздействие на эффективность очистки отработавших газов в нейтрализаторе авторами объясняется следующим образом. Пары раствора подаваемые с отработавшими газами на пористые проницаемые каталитические блоки поддерживают доступность реагентов к катализаторам, тем самым способствуя процессам окисления продуктов неполного сгорания и восстановления оксидов азота до азота и кислорода. Это является очень важным обстоятельством, влияющим на качество очистки отработавших газов дизелей, так как в среде с высокими температурами образование пленок отложений даже толщиной в 0,01 мкм приводит к снижению эффективности очистки в каталитических нейтрализаторах [2].

Таблица 1 – Влияние подачи раствора в реактор каталитического нейтрализатора на качество очистки отработавших газов дизеля 6Ч15/18

Оценочные показатели вредных выбросов	Величины оценочных показателей, г/(кВт·ч)						Кратность превышения норм ЕВРО-3/4/5
	Допустимые уровни			Выбросы веществ			
	ЕВРО-3	ЕВРО-4	ЕВРО-5	без КН	с КН	раствор в реактор	
NO <sub>x</sub>	5,00	3,50	2,00	10,29	6,61	5,11	1,02/1,46/2,55
CO	2,10	1,50	1,50	10,85	5,87	5,69	2,71/3,79/3,79
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	0,60	0,46	0,25	1,53	0,816	0,82	1,37/1,78/3,28
ТЧ	0,10	0,02	0,02	0,219	0,092	0,091	0,91/4,55/4,55

Результаты определения влияния подачи раствора в реактор каталитического нейтрализатора на качество очистки отработавших газов дизеля 6Ч15/18 приведены в таблице 1. Данные свидетельствуют о том, что подача предлагаемого раствора в реактор каталитического нейтрализатора приводит к дополнительному снижению вредных выбросов оксидов азота, оксида углерода и твердых частиц. Наибольший эффект в 22,7% достигнут по снижению выбросов оксидов азота.

В результате испытаний дизеля по внешней скоростной характеристике в диапазоне 1100-1900 мин<sup>-1</sup> обнаружены закономерности изменения выбросов оксидов азота, углеводородов, оксида углерода и твердых частиц (рисунок 1а). Здесь же показаны результаты очистки отработавших газов в каталитических блоках катализатора, в том числе, с подачей предлагаемого раствора в количестве 1,4 г/м<sup>3</sup> ОГ. Наблюдается дополнительное снижение выбросов NO<sub>x</sub>, CO и ТЧ и некоторый рост выбросов C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>. Последнее обстоятельство объяснить не удалось.

В результате испытаний дизеля по нагрузочной характеристике при 1900 мин<sup>-1</sup> обнаружены закономерности изменения выбросов NO<sub>x</sub>, CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, и ТЧ (рисунок 1б). Здесь же пока-

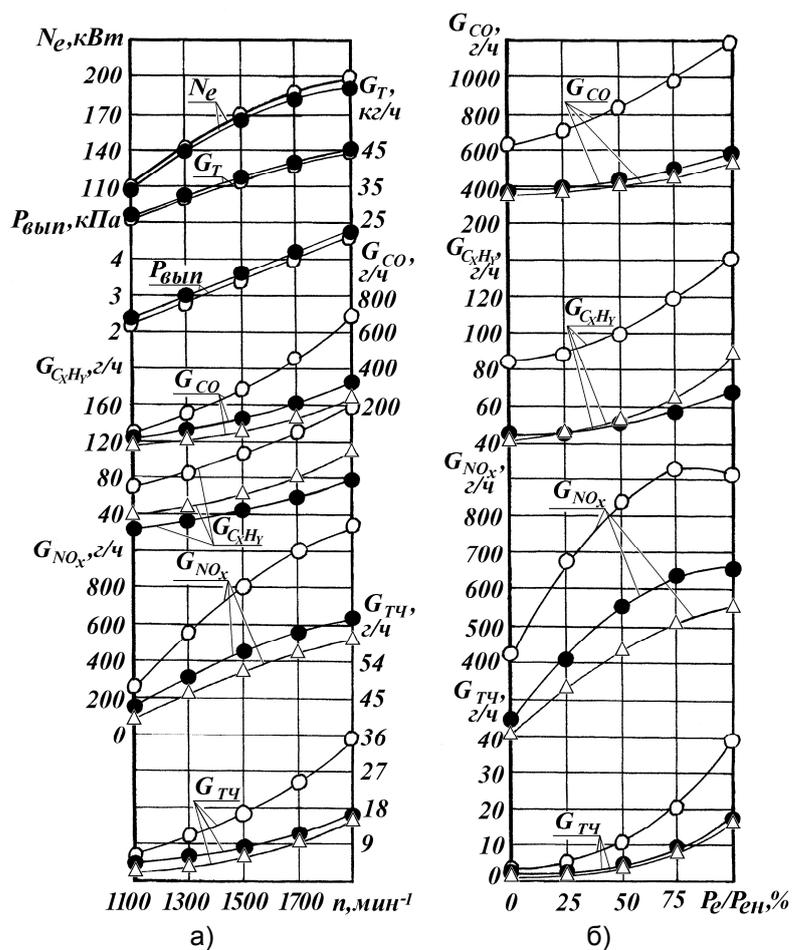


Рисунок 1 – Эффективность каталитической очистки отработавших газов дизеля 6Ч15/18: а)-по внешней скоростной характеристике; б)-по нагрузочной характеристике при 1900 мин<sup>-1</sup> (○-без КН; ●-с КН, Δ-подача раствора в количестве 1,4 г/м<sup>3</sup> ОГ)

заны результаты очистки отработавших газов в каталитических блоках нейтрализатора, в том числе, с подачей предлагаемого раствора в количестве  $1,4 \text{ г/м}^3$  ОГ. Если снижение выбросов  $\text{NO}_x$ , CO и ТЧ наблюдается во всем диапазоне нагрузок, то по выбросам  $\text{C}_x\text{H}_y$  можно отметить снижение до 25% нагрузки и дальнейший рост выбросов.

Снижение значения удельного нормообъема на 18,8% свидетельствует о том, что подача предлагаемого раствора в реактор благотворно влияет на качество очистки отработавших газов (таблица 2).

Для оценки общего уровня вредных выбросов был использован показатель удельного нормообъема, разработанный ранее В.И. Смайлисом и усовершенствованный А.Л. Новоселовым.

*Таблица 2 – Изменение значения удельного нормообъема при каталитической нейтрализации отработавших газов*

Условия испытаний	Значение нормообъема, $\text{нм}^3/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$				
	$\text{NO}_x$	CO	$\text{C}_x\text{H}_y$	ТЧ	$\Sigma$
Дизель с КН	1322	293,5	2,86	23	1641
Доля, %	80,56	17,88	0,20	1,74	100
Подача раствора в реактор	1022	284,5	2,73	22,75	1332
Доля, %	76,72	21,36	0,205	1,72	100

Вывод: подача раствора  $\text{CuCl}_2+\text{NaCl}$  в 90% этиленгликоля и 10% нашатырного спирта создает условия улучшения очистки отработавших газов в каталитическом нейтрализаторе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Новоселов, А.Л. Применение СВС-материалов при решении экологических проблем транспорта / А.Л. Новоселов, А.А. Мельберт, А.А. Жуйкова. -Новосибирск: Наука, 2007. - 168 с.

2 Новоселов, А.Л. Совершенствование очистки отработавших газов дизелей на основе СВС-материалов / А.Л. Новоселов, В.И. Пролубников, Н.П. Тубалов. -Новосибирск: Наука, 2002. -96 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *нейтрализатор, раствор, впуск, этиленгликоль, нашатырный спирт, дизель, отработавшие, газы*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Медведев Геннадий Валериевич, канд. техн. наук, докторант ГОУ ВПО «АлтГТУ» Новоселов Александр Александрович, канд. техн. наук, докторант ГОУ ВПО «АлтГТУ» Мельберт Алла Александровна, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «АлтГТУ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *656099, г. Барнаул, пр. Ленина, 46а, ГОУ ВПО «АлтГТУ»*

## ОСОБЕННОСТИ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

ГОУ ВПО «Читинский государственный университет»

**А.Г. Батухтин**

**FEATURES OF SCHEDULING OF MODERN SYSTEMS OF A HEAT SUPPLY**  
«Chita state university»

A.G. Batuhtin

In article features of modern systems of a heat supply are presented, problems of application of modern systems of automatic control on real examples with an economic estimation are defined.

*Keywords: optimization, efficiency, system of the centralized heat supply, modeling*

Представлены особенности современных систем теплоснабжения, определены проблемы применения современных систем автоматического регулирования на реальных примерах с экономической оценкой.

Под диспетчерским управлением понимается централизованное (удаленное) управление режимом какой-либо технологической системы. При этом с точки зрения термодинамики информационных процессов нет различия управление какой технологической системы осу-

ществляется. В качестве примера диспетчеризации можно привести системы дистанционного сбора данных параметров работы и управления технологическим оборудованием и автоматизированные системы управления теплоэнергетическими системами, то есть оптимальное согласование режимов всех ее элементов, осуществляемое диспетчерской службой предприятия.

Диспетчеризация тепловых сетей является одним из приоритетных направлений, позволяя создавать наиболее благоприятные гидравлические, и температурные характеристики сети, во многих случаях устранять «перетопы» и «недотопы» в зданиях на начальных и конечных участках сети. В настоящее время температурный график теплосети является функцией от температуры наружного воздуха, не учитывая, дополнительного поступления солнечной радиации. У абонентов же дела обстоят иначе, есть возможность осуществлять не только по фасадную регулировку, но и поквартирную. В связи с этим возможно повышение температуры воды в обратном трубопроводе, и если не предпринимать ни каких мер, то коэффициент полезного действия теплофикационной установки будет снижаться. Диспетчеризация, во многом, позволяет избежать перерасхода топлива, и соответственно более экономично использовать природные ресурсы страны.

Можно предположить, что чем более автоматизированной будет система теплоснабжения, тем эффективнее, с точки зрения термодинамики, она будет. Но такое утверждение не рассматривает ряд ограничений:

- Степень достоверности представления измеряемых параметров.
- Затраты энергии на измерение и регулирование.

Ни одно измерение или передачу информации об измеряемом параметре, а также ее преобразование в удобный для систем управления вид, возможно, произвести только с определенной степенью достоверности. Даже без учета возможных потерь энергии промежуточных сигналов (за счет гидравлического сопротивления, электрического сопротивления и т.д.) степень достоверности имеет свои пределы.

Прогрессирующее развитие техники и в том числе электроники способствовало развитию сложных систем автоматического регулирования. Современная система автоматического регулирования (САР) обладает рядом преимуществ, которых было затруднительно добиться в начале прошлого века, когда становилось централизованное теплоснабжение. В настоящее время одним из главных достоинств САР является возможность реализации сложных законов автоматического регулирования, кроме того, в большинство стандартных систем заложена возможность перепрограммирования, то есть, изменения законов регулирования и управления системой. Современные системы автоматического регулирования отпуска тепловой энергии потребителю в централизованных системах теплоснабжения обладают следующими функциями [1]:

- Поддержание требуемого температурного графика в подающем и обратном трубопроводах системы теплоснабжения в зависимости от температуры наружного воздуха.
- Поддержание заданной температуры воздуха в представительных помещениях.
- Поддержание требуемой температуры воды на горячее водоснабжение.
- Снижение теплопотребления здания в ночное время и в нерабочие дни.
- Ограничение температуры обратной сетевой воды.

Перечисленные функции дают значительную экономии тепловой энергии в процессе отпуска теплоты для потребителя, на котором устанавливается данная система. Кроме экономии для потребителя системы имеют и дополнительные преимущества и для всей системы. Одним из таких преимуществ является более полное использование потенциала сетевой воды и как следствие снижение температуры обратной сетевой воды после потребителя. Снижение температуры обратной сетевой воды увеличивает долю выработки электроэнергии на базе теплового потребления на ТЭЦ, что увеличивает ее экономичность. Современные системы автоматического регулирования отпуска тепловой энергии потребителю оснащены, как правило, смесительными насосами, которые улучшают циркуляцию в системе отопления потребителя, снижая потребление сетевой воды из теплосети.

Существующий в нормативной литературе принцип уровневого регулирования делящегося на: индивидуальное, местное, групповое и центральное в настоящее время зачастую не выполняется. Индивидуальное и местное регулирование осуществляется только у части потребителей и зачастую с учетом возможностей современных САР, групповое осуществляется в единичных случаях, а центральное осуществляется по графикам центрального качественного регулирования отпуска теплоты, рассчитанным по методикам 50-х годов прошлого

века. В таких условиях наличие современных САР у ряда потребителей вносит значительный дисбаланс в существующие системы централизованного теплоснабжения. Дисбаланс определяется тем, что при центральном качественном регулировании на источнике у ряда потребителей осуществляется местное качественно-количественное регулирование. Поскольку у потребителей оборудованных САР отпуск теплоты имеет переменный характер в зависимости от температуры наружного воздуха, неравномерность которой для многих регионов России достигает 25-30 °С, то расход теплоносителя идущий на них меняется в значительных пределах (от -100% до +50% от расчетного расхода). Такое изменение расхода теплоносителя у одних потребителей разбалансирует систему и в значительной степени изменяет расходы у других, особенно сильно влияние проявляется у потребителей находящихся в непосредственной близости и имеющих меньшие расчетные нагрузки. Данные режимы особенно характерны для концевых участков тепловых сетей, где изменение расхода одного потребителя оказывает значительное влияние на общую гидравлическую характеристику. Наиболее показательным, может являться режим опрокидывания циркуляции у неавтоматизированного потребителя географически находящегося возле автоматизированного на концевом участке теплосети.

В качестве примера можно привести влияние суточной неравномерности САР микрорайона «Октябрьский» на экономичность отпуска теплоты в теплосети ТЭЦ-1 - Город (г. Чита Забайкальского края). При этом что расчетный расход теплоносителя на мкр. Октябрьский (195 т/ч) составляет 3,58% от общего расхода (5452 т/ч) увеличение расхода теплоносителя на 50% в период вечернего пика нагрузки ГВС приводит к снижению напора у других потребителей от 15 до 82%. Максимальное изменение напора характерно для близлежащих потребителей, при этом ощутимое изменение наблюдается и на участках удаленных на 7-8 км. Это определяется «перегруженностью» головных участков тепловых сетей. При этом снижение расхода теплоносителя также дает ощутимый эффект. К примеру снижение расхода теплоносителя на 50% в период дневных высоких температур наружного воздуха в переходный период приводит к увеличению напора у других потребителей от 15 до 75%. Отсутствие учета разной степени автоматизации потребителей может иметь более глобальные последствия для экономичности работы всей системы определяемые тем, что выполнение основной функции, обеспечение качественного теплоснабжения, требует от системы повышения напора на источнике, а при отсутствии суточного регулирования это приводит к значительному перетопу у ряда потребителей. Оценка экономических потерь производилась исходя из предположения, что на источнике теплоснабжения поддерживается перепад необходимый для обеспечения расчетного перепада давления на участке тепловой сети определенной по методике [2, 3], как характерной. При этом условии перепад на ТЭЦ-1 должен быть увеличен с 11,7 кгс/см<sup>2</sup> (15,0/3,3) кгс/см<sup>2</sup> до 11,89 кгс/см<sup>2</sup> (15,14/3,25) кгс/см<sup>2</sup>. Увеличение напора вместо необходимых 6 ч в течение 24 ч дает перерасход топлива в денежном эквиваленте в 3,4 млн. руб.

Для того чтобы энергосберегающий эффект САР у потребителей распространился на всю систему производства, распределения и потребления тепловой энергии и привел к реальной экономии топлива необходимо развивать современную систему диспетчеризации. Она должна быть основана на комплексном использовании информации о реальном состоянии системы от комплекса первичных измерителей и применения расчетных моделей систем централизованного теплоснабжения позволяющих получать достоверные сведения о функционировании потребителей тепловой энергии и участках тепловых сетей. Данные модели должны удовлетворять следующим требованиям:

- с достаточной точностью характеризовать режимы работы системы с учетом реального состояния оборудования;
- учитывать суточную неравномерность потребления нагрузок отопления, горячего водоснабжения и вентиляции;
- учитывать разную степень автоматизации потребителей тепловой энергии.

Использование данных моделей позволит осуществлять центральное качественно-количественное регулирование отпуска теплоты с учетом разной степени автоматизации потребителей. Примером применения таких моделей может служить оптимизация отпуска теплоты от ТЭЦ потребителю с учетом прогноза изменения в течение суток нагрузки ГВС и температуры наружного воздуха [1], отражающий разную инерционность участков тепловых сетей [4].

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Батухтин, А.Г. Методы повышения эффективности и увеличения располагаемой мощности систем централизованного теплоснабжения / А.Г. Батухтин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№1. -С. 189-192.
- 2 Goryachikh, N.V. Some Methods for Making Cogeneration Stations More Maneuverable / N.V. Goryachikh, A.G. Batukhtin, S.A. Ivanov // Thermal Eng. -2010. -Vol.57, N.10. -P. 892-896.
- 3 Иванов, С.А. Метод повышения электрической мощности турбин / С.А. Иванов, А.Г. Батухтин, Н.В. Горячих // Пром. энергетика. -2009. -№12. -С.13-15.
- 4 Батухтин, А.Г. Влияние протяженности тепловых сетей на режимы отпуска теплоты от ТЭЦ с учетом функционирования потребителей / А.Г. Батухтин, О.Е. Куприянов // Пром. энергетика. -2005. -№5. -С. 39-41.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *оптимизация, эффективность, система централизованного теплоснабжения, моделирование*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Батухтин Андрей Геннадьевич, канд. техн. наук, директор технико-внедренческого парка ГОУ ВПО «ЧитГУ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30, ГОУ ВПО «ЧитГУ»*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ**

ГОУ ВПО «Читинский государственный университет»

**А.В. Калугин, А.Г. Батухтин, И.Ю. Батутина**

**APPLIANCE OF HEAT PUMPS TECHNOLOGIES FOR EFFICIENCY INCREASE OF HEAT RELEASING OPTIMIZATION METHODS «Chita state university»**

A.V. Kalugin, A.G. Batuhin, I.Yu. Batuhtina

Methods of developing of work regime system of distribution and consumption of heat energy on the basis of optimizational models are presented in the article. It is given evaluation of economical effect of heat pumps technology appliance for efficiency increase of heat releasing optimization methods.

*Keywords: optimization, efficiency, system of centralized heat-supply, modeling*

Представлены методы совершенствования режимов работы, системы распределения и потребления тепловой энергии на основе оптимизационных моделей. Дается оценка экономического эффекта применения технологии тепловых насосов для повышения эффективности методов оптимизации отпуска теплоты.

Комплекс теплоснабжения, как правило, состоит из производителя, поставщика, и потребителя тепловой энергии. Экономичность всего комплекса остается низкой, при достаточно совершенном производстве энергии ее распределение, передача и потребление еще требуют совершенствования. Низкая эффективность комплекса теплоснабжения определяет высокую энергоемкость экономики России в целом. Последние заявления первых лиц государства призывают обратить внимание на энергосберегающие технологии. К методам энергосбережения можно отнести мероприятия по оптимизации отпуска теплоты от ТЭЦ потребителю, которые могут быть отнесены к самым малозатратным энергосберегающим технологиям.

Большинство городов и поселков РФ отапливаются от местных котельных или ТЭЦ, работающих по графикам центрального качественного регулирования отпуска теплоты, рассчитанным по методикам 50-х годов прошлого века. При этом рост городов значительно увеличивает и количество потребителей теплоты, подсоединенных к местной системе централизованного теплоснабжения. Новые же нагрузки покрываются за счет повышения мощностей источников теплоснабжения, как правило без учета изменения характеристик тепловых сетей. Все это приводит к неоптимальному использованию топливных ресурсов и повышению стоимости энергии. Обеспечение качественного и энергоэффективного теплоснабжения потребителей тепловой энергии является ее основной задачей. В соответствии с действующими нормами температура воздуха в помещениях в холодный период года должна иметь определенное значение и не зависит от погодных и временных условий. Однако, в

настоящее время повсеместно наблюдается недогрев и перегрев потребителей тепла. Эта проблема ненормативного отпуска присуща практически для всех городов России с централизованным теплоснабжением. Поддержание комфортных температурных условий в помещениях потребителей является первоочередной задачей для систем теплоснабжения, а при общем недоотпуске тепловой энергии не представляется возможным без внедрения современных технологий [1].

Современные методы оптимизации отпуска теплоты потребителям основаны на построении моделей функционирования системы распределения и потребления тепловой энергии. Наиболее полные из них обладают следующими функциями:

- корректировка подаваемой от источника теплоты основана не на системе поправок температуры сетевой воды, а на теплогидравлическом расчете абонентских вводов с учетом схем присоединения установок ГВС, при этом реакция на любые возмущения осуществляется качественно-количественным регулированием;

- нагрузка ГВС принимается в расчетах с учетом суточной неравномерности определенной для различных групп потребителей, а проверка суточного баланса теплоты у потребителей и корректировка температурного графика в связи с изменением нагрузки ГВС предлагается не в качестве рекомендаций, а как одно из основных ограничительных условий суточного графика регулирования;

- в модели производится расчет характеристик абонентов не только в конкретные моменты времени, но и осуществляется суточный анализ, при этом появляется возможность учитывать суточный перегрев абонентов и осуществлять регулирование параметров на источнике теплоснабжения с учетом суточной оптимизации;

- помимо удовлетворения потребностей всех потребителей в модели появляется возможность оптимизировать суточный график отпуска теплоты на основе анализа всевозможных графиков, а в качестве критерия оптимальности принимаются затраты на ТЭЦ при заданной электрической нагрузке;

- при оптимизации отпуска теплоты учитывается инерционность изменения параметров теплоносителя, а также аккумулирующая способность потребителей.

Произведенный расчет эффективности оптимизации отпуска теплоты от ТЭЦ потребителю с учетом изменения в течение суток нагрузки ГВС и температуры наружного воздуха на основе моделирования системы с учетом ее реального состояния на примере системы теплоснабжения микрорайона «КСК» (г. Читы Забайкальского края) отапливаемого от теплофикационных отборов двух турбин ПТ-60 Читинской ТЭЦ-1 показал экономический эффект 3 млн. руб./год. При этом располагаемая тепловая мощность станции может быть увеличена на 6,1% при сохранении расхода теплоносителя и попусканной способности тепловых сетей, а также выработки электрической энергии [2].

Данный экономический эффект не является предельным поскольку диапазон температур прямой сетевой воды на ТЭЦ, в котором находится оптимальная, на конкретном временном промежутке, ограничивается: разной протяженностью отдельных участков тепловых сетей; участки тепловых сетей имеют разные характеристики тепловой изоляции, скорость изменения температуры прямой сетевой воды на ТЭЦ не должна превышать 30 °С/ч; районы теплоснабжения обладают разными потребителями тепловой энергии и как следствие требуют разного изменения температур прямой сетевой воды в течение суток [3]. Снять эти ограничения позволит изменение температуры теплоносителя по лучам тепловых сетей. Данное изменение температуры согласно оптимизированным графикам центрального регулирования (в зависимости от оптимального суточного графика и потребностей конкретных потребителей) для каждого направления тепловых сетей позволит уменьшить перерасходы тепловой энергии, а также снизить температуру обратной сетевой воды и как следствие увеличить выработку на тепловом потреблении на ТЭЦ. Решением этой задачи может служить применение установок по перераспределению потоков теплоты по разноинерционным ветвям теплосетей в зависимости от оптимального суточного графика и потребностей конкретных потребителей. Перераспределение потоков теплоты предполагается осуществлять с применением технологии тепловых насосов [4]. Метод перераспределения заключается в том, что от источника отпускается оптимальная температура теплоносителя, при этом в период натопа в наиболее удаленные участки тепловых сетей температура увеличивается за счет нагрева в конденсаторе теплового насоса, а в период снижения тепловой нагрузки температура увеличивается в ближних участках тепловых сетей. Применение данной методики позволит экономический эффект увеличить на 30-50% в зависимости от времени года.

Для снижения эксплуатационных затрат на нагрев в качестве низкопотенциального источника теплоты может быть использованы другие источники. К возможным источникам можно отнести тепло грунта, воду различных источников, воздух, а также тепло солнечного излучения воспринятое солнечными коллекторами. Оценка эффекта применения сторонних источников теплоты с учетом снижения эффекта от изменения температуры обратной сетевой воды показала увеличение экономической эффективности до 70%. При этом на использование предложенной методики накладываются дополнительные ограничения за счет снижения температуры в испарителе. Кроме того, наблюдается снижение коэффициента преобразования теплоты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Батухтин, А.Г. Методы повышения эффективности функционирования современных систем транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии / А.Г. Батухтин, М.С. Басс, С.Г. Батухтин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№2. - С. 199-202.

2 Батухтин, А.Г. Методы повышения эффективности и увеличения располагаемой мощности систем централизованного теплоснабжения / А.Г. Батухтин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№1. -С. 189-192.

3 Батухтин, А.Г. Влияние протяженности тепловых сетей на режимы отпуска теплоты от ТЭЦ с учетом функционирования потребителей / А.Г. Батухтин, О.Е. Куприянов // Пром. энергетика. -2005. -№5. -С. 39-41.

4 Батухтин, А.Г. Использование тепловых насосов для повышения тепловой мощности и эффективности существующих систем централизованного теплоснабжения // Науч.-техн. ведомости СПбГТУ. -2010. -№2. -С. 28-33.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *оптимизация, эффективность, система централизованного теплоснабжения, моделирование*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Калугин Алексей Владимирович, ст. преподаватель ГОУ ВПО «ЧитГУ»  
Батухтин Андрей Геннадьевич, канд. техн. наук, директор технико-внедренческого парка ГОУ ВПО «ЧитГУ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *Батухтина Ирина Юрьевна, канд. физ. –мат. наук, ст. преподаватель ГОУ ВПО «ЧитГУ»  
672039, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, 30, ГОУ ВПО «ЧитГУ»*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ПРОФИЛЯ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ЛОПАСТЕЙ РОТОРА НА ВЕЛИЧИНУ ПОТРЕБНОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ЕГО ВРАЩЕНИЯ**

ГОУ ВПО «Самарский государственный университет путей сообщения»

**А.В. Алексеев**

### **RESEARCH OF INFLUENCE OF FORM OF PROFILE AND LOCATION OF BLADES OF ROTOR ON VALUE OF THE REQUIRED POWER ASSOCIATED WITH ITS ROTATION**

«Samara state railway engineering university»

V.A. Alekseev

Granular cargo hold significant share (over 50%) in total volume of cargo transportation by all modes of transportation in modern Russia. One of problems of increase of efficiency of transport process of delivery of granular cargo is perfection of means for performance of cargo handling works. Widely used as technological machinery required for loading of granular cargo vehicles have blades feeder. The author of the article on the basis of the executed theoretical researches is get practical recommendations, touching the question of perfection of construction of blades feeders. These recommendations may be useful for practical engineers engaged in improving the design of technical facilities for loading and unloading, transport and storage operations with granular cargo.

*Keywords: transport process, granular cargo, cargo handling, vehicle, technological machines, blades feeder*

Представлены методы совершенствования режимов работы, системы распределения и потребления тепловой энергии на основе оптимизационных моделей. Дается оценка экономического эффекта применения технологии тепловых насосов для повышения эффективности методов оптимизации отпуска теплоты.

Около 10 млрд. т грузов различной номенклатуры ежегодно перевозится по всем видам транспорта в современной России. Сыпучие грузы занимают весомую часть (свыше 50%) в

указанном объёме перевозок. Одной из задач повышения эффективности транспортного процесса доставки сыпучих грузов является совершенствование технических средств для выполнения погрузочно-разгрузочных работ.

Широкое распространение в качестве технологических машин, необходимых для погрузки сыпучих грузов в транспортные средства, имеют лопастные питатели. Основными достоинствами их являются высокая производительность, несложная конструкция и простой принцип работы. К недостаткам относятся высокое энергопотребление и непостоянство (колебание) производительности рабочего процесса [1].

В рассматриваемой статье автором на основе выполненных теоретических исследований получены практические рекомендации, касающиеся вопроса снижения потребной мощности на работу лопастного питателя за счет совершенствования конструкции лопастного ротора.

Лопастной ротор является основным конструктивным элементом лопастного питателя, определяющим эффективность его работы. По форме профиля лопасти ротора подразделяются на прямолинейные и криволинейные. Наибольшее распространение имеют роторы с прямолинейными лопастями. Последние по расположению относительно оси вращения ротора подразделяются на радиальные и смещённые.

Рассмотрим, как влияет расположение прямолинейных лопастей ротора на величину потребной мощности для его вращения. Пусть ротор содержит  $Z$  лопастей, которые равномерно размещены на его ступице. Угловую скорость ротора примем равной  $\omega$ . Направление вращения ротора – по часовой стрелке [2, 3].

Исследуем вначале ротор с радиальным расположением лопастей (рисунок 1). Пусть требуемая мощность на вращение ротора равна  $P_{\text{тп}}^{\beta=0}$ , Вт. Тогда приведённая к каждой радиальной лопасти ротора сила сопротивления равна

$$F_c = F_{\text{окр}} = \frac{P_{\text{тп}}^{\beta=0}}{\omega r_{\text{ср}} Z}, \text{ Н}, \quad (1)$$

где  $F_{\text{окр}}$  – приведённая к каждой радиальной лопасти окружная движущая сила,

$$\vec{F}_c = -\vec{F}_{\text{окр}};$$

$r_{\text{ср}}$  – средний радиус ротора, м

$$r_{\text{ср}} = \frac{D_{\text{н}} + D_{\text{вн}}}{4}, \quad (2)$$

$D_{\text{н}}, D_{\text{вн}}$  – наружный и внутренний (ступицы) диаметры ротора, м.

Поскольку  $\vec{F}_{\text{окр}} = \vec{N}$ , следовательно, реакция  $\vec{N}$  лопасти полностью идёт на преодоление сил сопротивления сыпучего груза вращению ротора.

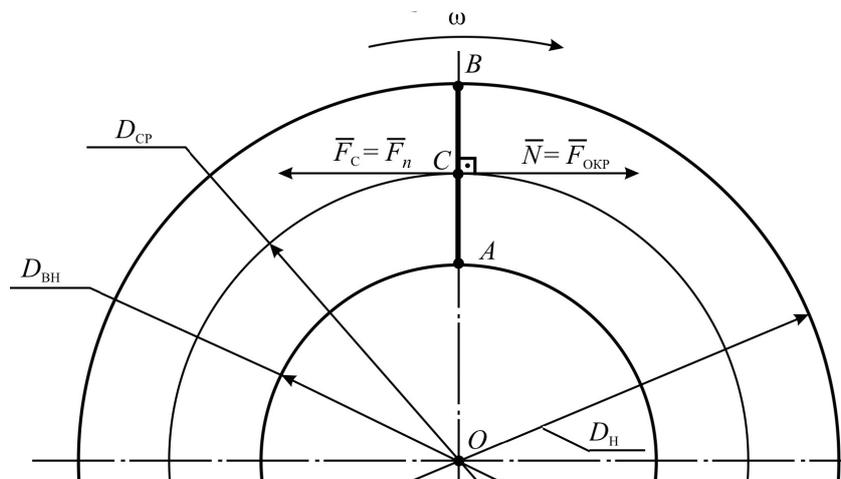


Рисунок 1 – Расчётная схема определения сил  $\vec{F}_c = -\vec{F}_{\text{окр}}$

Пусть каждая лопасть ротора отклонена от радиального положения на угол  $\beta$  в направлении, противоположное  $\omega$ . Указанное направление отклонения примем условно за положительное.

На рисунке 2а изображена картина действующих на лопасть сил. Нормальную реакцию  $\vec{N}$  лопасти разложим на окружную  $\vec{N}'$  и радиальную  $\vec{N}''$  составляющие [4].

При сохранении неизменной величины мощности  $P_{mp}^{\beta=0}$  на привод вращения ротора имеют место следующие равенства:

$$\vec{N}' = \vec{F}_{окр}; \quad (3)$$

$$N'' = F_c \operatorname{tg} \beta_2, \quad (4)$$

где  $\beta_2$  – угол между отрезком  $OC$  и лопастью ротора, град.,

$$\beta_2 = \beta - \beta_1; \quad (5)$$

$\beta_1$  – полярный угол, характеризующий положение точки  $C$  на лопасти, град.,

$$\beta_1 = \arcsin \frac{l_{AB} \sin \beta}{2\rho_c}, \quad (6)$$

$\rho_c$  – полярный радиус точки  $C$ , м,

$$\rho_c = OC = \sqrt{\left(\frac{D_{BH}}{2}\right)^2 + \left(\frac{l_{AB}}{2}\right)^2 + \frac{l_{AB} D_{BH} \cos \beta}{2}}, \quad (7)$$

$l_{AB}$  – длина лопасти ротора, м,

$$l_{AB} = \frac{D_H \sin AOB}{2 \sin \beta}; \quad (8)$$

$$\angle AOB = \beta - \angle ABO; \quad (9)$$

$$\angle ABO = \arcsin \frac{D_{BH} \sin \beta}{D_H}. \quad (10)$$

Составляющая  $\vec{N}''$  прижимает сыпучий груз к внутренней поверхности обечайки бункера. Это вызывает появление дополнительной силы сопротивления (трения)  $\Delta \vec{F}_c$ , препятствующей вращению лопасти ротора

$$\Delta F_c = N'' f = f F_c \operatorname{tg} \beta_2, \text{ Н.} \quad (11)$$

На преодоление силы  $\Delta \vec{F}_c$  требуется дополнительная мощность

$$\Delta P_c = \Delta F_c \omega \rho_c, \text{ Вт.} \quad (12)$$

Требуемая мощность на вращение ротора для случая  $\beta > 0$

$$P_{mp}^{\beta>0} = P_{mp}^{\beta=0} + \Delta P_c Z, \text{ Вт.} \quad (13)$$

Приведённая к каждой лопасти ротора сила сопротивления сыпучего груза

$$F_c^{\beta>0} = F_{окр}^{\beta>0} = F_c + \Delta F_c = \frac{P_{mp}^{\beta>0}}{Z \omega \rho_c}, \text{ Н.} \quad (14)$$

Рассмотрим случай, при котором каждая лопасть ротора отклонена от радиального положения на угол  $\beta < 0$  в сторону вращения ротора (рисунок 2б). По аналогии со случаем  $\beta > 0$  примем, что мощность на привод вращения ротора равна  $P_{mp}^{\beta=0}$ . Тогда равенства (3), (4) остаются в силе.

Составляющая  $\vec{N}''$  нормальной реакции  $\vec{N}$  лопасти уменьшает давление сыпучего груза на внутреннюю поверхность обечайки бункера. В результате приведённая к каждой лопасти сила сопротивления вращению ротора уменьшится на величину  $\Delta F_c$ .

Требуемая мощность на вращение ротора уменьшится на величину  $\Delta P_c$  по сравнению со случаем  $\beta = 0$  и станет равна

$$P_{mp}^{\beta<0} = P_{mp}^{\beta=0} - \Delta P_c Z. \quad (15)$$

Приведённая к каждой лопасти ротора сила сопротивления сыпучего груза

$$F_c^{\beta<0} = F_{окр}^{\beta<0} = F_c - \Delta F_c = \frac{P_{mp}^{\beta<0}}{Z \omega \rho_c}, \text{ Н.} \quad (16)$$

Следует заметить, что случай  $\beta < 0$  имеет серьёзный недостаток, усложняющий эксплуатацию питателей с подобным расположением лопастей. При  $\beta < 0$  составляющая  $N''$  вызывает уплотнение (застой) сыпучего груза в межлопастном пространстве ротора. При этом интенсивность схода сыпучего груза с лопастей ротора заметно снижается. В резуль-

тате производительность рабочего процесса питателя падает, а неравномерность выпуска сыпучего груза возрастает.

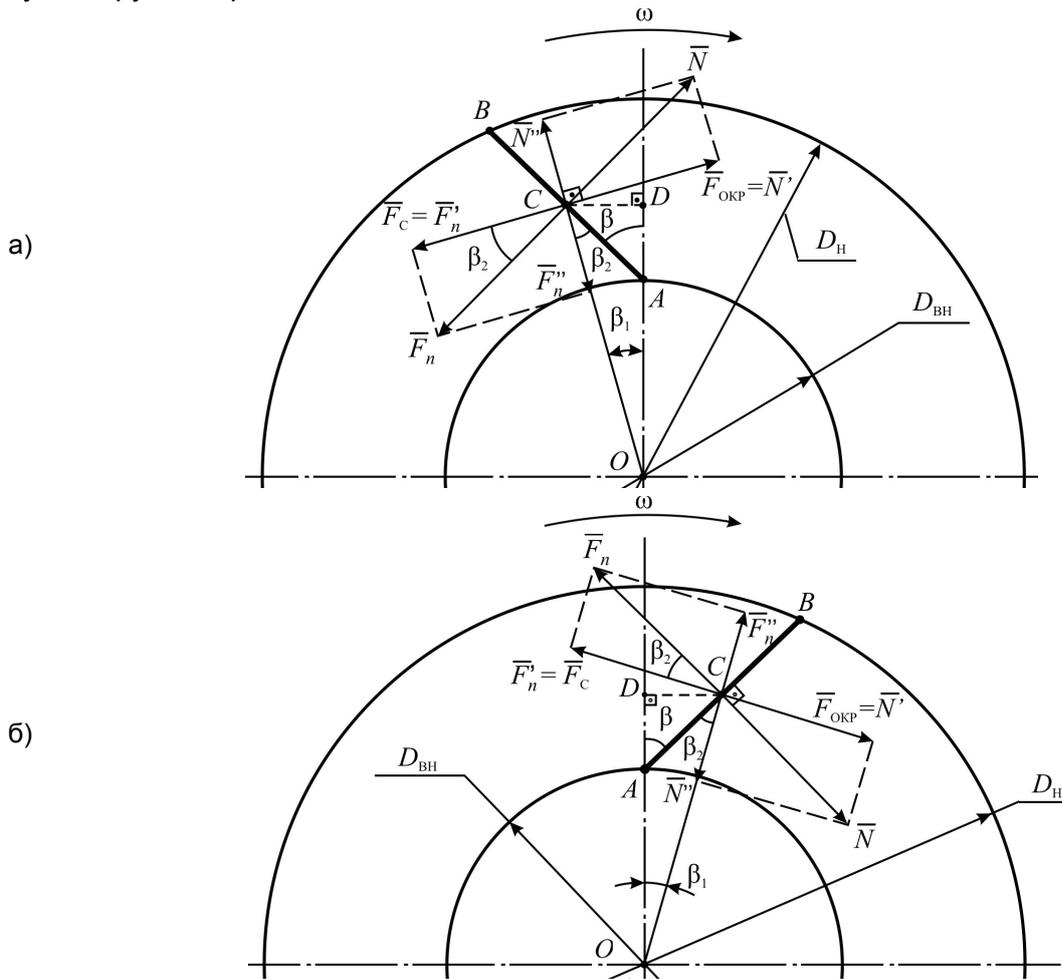


Рисунок 2 – Расчётная схема определения потребляемой мощности на вращение ротора с прямолинейными лопастями: а)-случай  $\beta > 0$  ; б)-случай  $\beta < 0$

Следует заметить, что случай  $\beta < 0$  имеет серьёзный недостаток, усложняющий эксплуатацию питателей с подобным расположением лопастей. При  $\beta < 0$  составляющая  $N''$  вызывает уплотнение (застой) сыпучего груза в межлопастном пространстве ротора. При этом интенсивность схода сыпучего груза с лопастей ротора заметно снижается. В результате производительность рабочего процесса питателя падает, а неравномерность выпуска сыпучего груза возрастает.

Полученные автором выводы о влиянии угла  $\beta$  на величину потребляемой мощности для вращение ротора с прямолинейными лопастями остаются справедливыми и для роторов с криволинейным профилем лопастей. Пусть профиль каждой лопасти ротора очерчен по логарифмической спирали, уравнение которой в полярных координатах имеет вид [5]

$$\rho = \rho_0 \exp(a\varphi), \tag{17}$$

где  $\rho_0$  – начальное значение полярного радиуса,

$$\rho_0 = \frac{D_{BH}}{2}, \text{ м};$$

$\varphi$  – полярный угол, рад;

$a$  – постоянная, характеризующая рост спирали,

$$a = \text{ctg } \psi;$$

$\psi = \text{Const}$  – угол между полярным радиусом, характеризующим положение текущей точки на профиле лопасти, и касательной к профилю, проходящей через эту точку, рад,

Максимальный полярный угол  $\varphi_{\text{max}}^*$  закручивания криволинейной лопасти ротора для

принятого угла  $\beta$  отклонения прямолинейной лопасти (рисунок 3)

$$\varphi_{\max}^* = 180^\circ - \angle BAO - \angle ABO = \beta - \arcsin \frac{D_{BH} \sin \beta}{D_H}. \quad (18)$$

Задаваясь конструктивными значениями диаметров  $D_{cm}$ ,  $D_H$ , нетрудно получить формулу для определения постоянной, характеризующая рост спирали

$$a = \frac{1}{\varphi_{\max}^*} \ln \frac{D_H}{D_{BH}}. \quad (19)$$

Точка С приложения сил  $\vec{F}_n$  и  $\vec{N}$  в этом случае лежит по середине дуги  $\widehat{AB}$ . Полярный радиус  $\rho_c$  и полярный угол  $\varphi_c$ , характеризующие положение точки С, находятся по формулам

$$\rho_c = OC = r_{cp}, \text{ м}; \quad (20)$$

$$\varphi_c = \frac{1}{a} \ln \frac{r_{cp}}{r_0}, \text{ рад}. \quad (21)$$

Анализ рисунка 3 показывает, что составляющая  $\vec{N}''$  нормальной реакции  $\vec{N}$  либо увеличивает (закручивание лопастей против  $\omega$  рисунок 3а) либо уменьшает (закручивание лопастей по направлению  $\omega$  рисунок 3б) сопротивление вращению ротора. Следовательно, волочение сыпучего груза прямолинейными и криволинейными лопастями ротора имеет схожий характер.

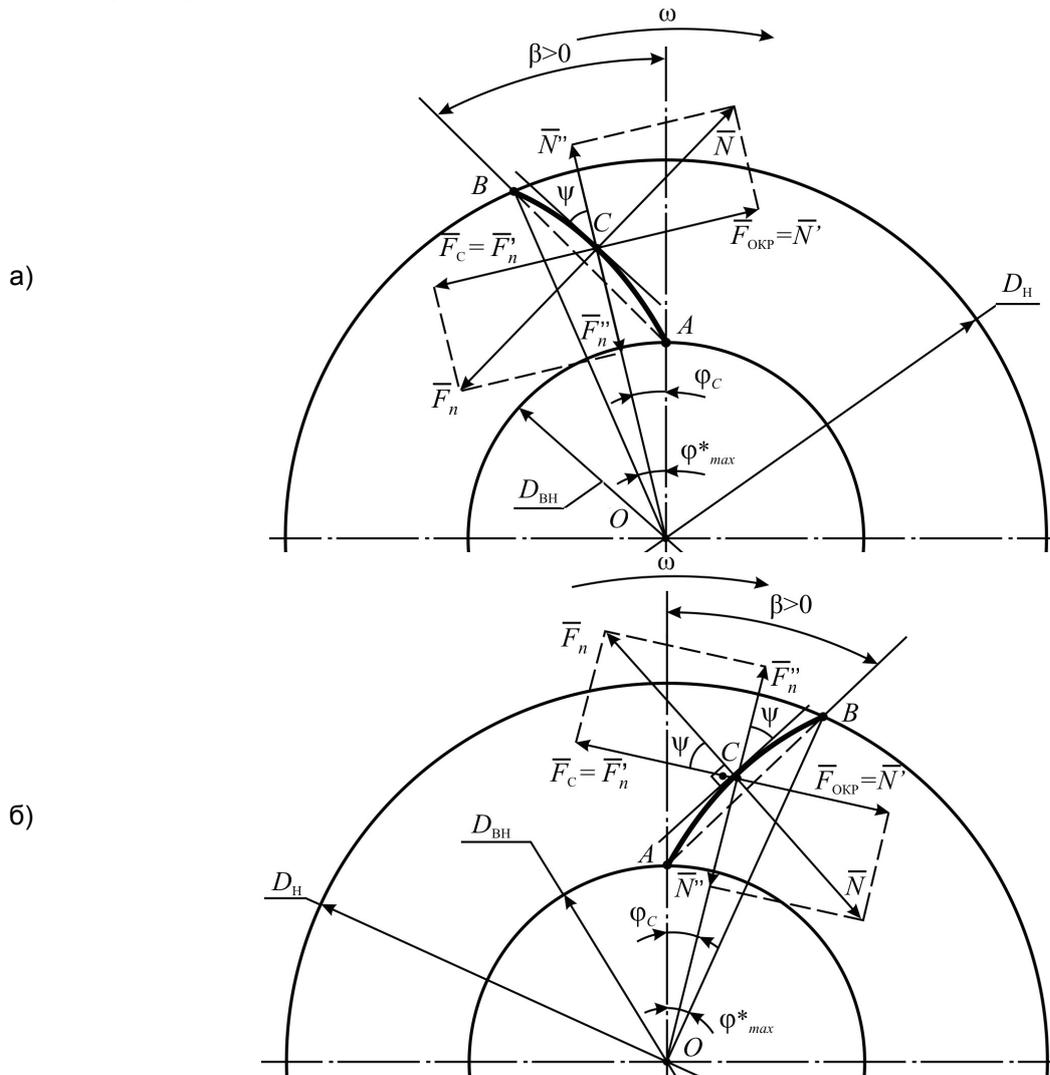


Рисунок 3 – Расчётная схема определения потребной мощности на вращение ротора с криволинейными лопастями: а)-правая логарифмическая спираль (случай  $\beta > 0$ ); б)-левая логарифмическая спираль (случай  $\beta < 0$ )

Величину силы  $\Delta \vec{F}_c$  для случая криволинейных лопастей ротора можно определить по (11), заменив угол  $\beta_2$  на угол  $\psi$ . Мощность от силы  $\Delta \vec{F}_c$  определяется по (12) с учетом (20). Требуемая мощность на вращение ротора и величина приведённой к каждой лопасти силы сопротивления определяется по формулам (13)–(16) в зависимости от направления закручивания лопасти.

Подводя итог выполненным исследованиям, можно сделать следующие выводы. Отклонение или закручивание лопастей в направлении, противоположное угловой скорости  $\omega$ , способствует увеличению потребной мощности на вращение ротора, что является крайне нежелательным для современных машин. Отклонение или закручивание лопастей по направлению  $\omega$  уменьшает величину потребной мощности на вращение ротора. Однако в этом случае сыпучий груз скапливается в межлопастном пространстве ротора, образуя застойные зоны. Это вызывает падение производительности рабочего процесса питателя и увеличивает неравномерность дозирования сыпучего груза. Наиболее рациональным является применение роторов с радиальным расположением прямолинейных лопастей. Такие роторы имеют самую простую конструкцию и позволяют обеспечить высокую точность дозирования сыпучего груза при умеренном энергопотреблении.

Таким образом, применение питателей с ротором, имеющим радиальное расположение лопастей, позволяет значительно повысить эффективность процесса погрузки сыпучих грузов в транспортные средства (вагоны, контейнеры, тару). Приведённые в статье рекомендации являются полезными для инженеров-практиков, занятых совершенствованием конструкции технических средств для выполнения погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских работ с сыпучими грузами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Зенков, Р.Л. Бункерные устройства / Р.Л. Зенков, Г.П. Гриневич, В.С. Исаев. -М.: Машиностроение, 1977. -223 с.
- 2 Яблонский, А.А. Курс теоретической механики: в 2 ч.: учеб. для втузов / А.А. Яблонский. -М.: Высш. шк., 1984. -2 ч.
- 3 Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. -М.: Наука, 1975. -639 с.
- 4 Крайнев, А.Ф. Детали машин: слов.-справ. / А.Ф. Крайнев. -М.: Машиностроение, 1992. -480 с.
- 5 Выготский, М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выготский. -М.: Наука, 1973. -872 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *транспортный процесс, сыпучий груз, погрузочно-разгрузочные работы, транспортное средство, технологические машины, лопастной питатель*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Алексеев Антон Владимирович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «СамГУПС»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *443066, г. Самара, 1-й Безымянный переулок, 18, ГОУ ВПО «СамГУПС»*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

**ФГОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»**

**А.Е. Цаплин**

**PROGRAM PROCESSING APPLYING FOR DETAIL DIAGNOSTIC OF ELECTRIC ROLLING STOCK MECHANICAL PART «Saint-Petersburg state transport university»**  
A.E. Tsaplin

Shown information about essence, methods and functional possibilities of machine vision. Watched practical realization of program processing image means on the basis of machine vision complex for detail diagnostic of electric rolling stock mechanical part.

*Keywords: machine vision, digital image processing, algorithm*

Приведена информация о сущности, методах и функциональных возможностях машинного зре-

ния. Рассмотрена практическая реализация средств программной обработки изображений на основе комплекса машинного зрения при диагностике деталей механической части электрического подвижного состава.

Автоматическая обработка и анализ визуальной информации при использовании их в технологических процессах в настоящее время являются весьма актуальными вопросами вследствие возрастания сложности решаемых научно-технических задач.

Основную часть информации о внешнем мире человек получает по зрительному каналу и далее весьма эффективно обрабатывает полученную информацию при помощи мыслительного аппарата анализа и интерпретации визуальной информации.

Машинное зрение – это вид деятельности, в котором для извлечения данных из визуальной информации применяются статистические методы и используются модели, построенные с помощью геометрии, физики и теории обучения. Цель машинного зрения заключается в формировании полезных выводов относительно объектов и сцен реального мира на основе анализа изображений, полученных с помощью датчиков. Для формирования выводов относительно объектов реального мира почти всегда необходимо построить некоторое описание или модель этих объектов на основе изображения [2].

Методы машинного зрения должны быть достаточно просты, поскольку должны выполняться в реальном времени. В то же время, к методам машинного зрения предъявляются повышенные требования по части устойчивости к шумам. В ряде случаев при выборе методов обработки изображений машинного зрения предполагается более тщательный и подробный анализ предъявленных изображений в ущерб скорости работы приложений.

Главным недостатком систем машинного зрения, заметно ограничивающим их техническое применение, считается отсутствие единых стандартов на оборудование и программные интерфейсы, то есть невозможно использовать системы разных производителей, к тому же стоимость интеграционных продуктов достаточно высока. По мере улучшения качества сканируемого изображения растет потребность в эффективном системном программном обеспечении для быстрого захвата видеоданных, их очистки, сжатия и хранения. В связи с этим ощущается нехватка совершенных математических алгоритмов, ориентированных на компьютеры с высокой производительностью и поддерживающих параллельную обработку. Остается также нерешенной проблема распознавания схожих, но по-разному освещенных объектов.

Алгоритмы обработки изображений в настоящее время существенно отстают от уровня распознавания зрительного восприятия человека. Решение задачи моделирования деятельности человеческого глаза и мозга, безусловно, ответило бы на большинство вопросов в области машинного зрения. Однако даже предварительные оценки показывают, что решение этой задачи в реальном времени потребует огромных вычислительных затрат.

Процесс машинного зрения представляет собой сложную технологическую цепочку, включающую получение цифрового изображения, обработку изображения с целью выделения значимой информации на изображении и анализ этого предобработанного изображения для решения определенной задачи.

В системах машинного зрения, для решения перечисленных задач, используются различные технологии и методы. Ниже перечислены основные методы обработки изображения, применимые к диагностике узлов механической части электрического подвижного состава:

– Подсчет количества светлых или темных пикселей для получения необходимых выводов об анализируемом изображении.

– Выделение связанных областей изображения (связная область изображения – это тип объекта, связанный с растровым изображением, и в то же время – это уже некая самостоятельная семантическая единица, позволяющая вести дальнейший геометрический, логический, топологический и любой другой анализ изображения).

– Бинаризация, преобразующая изображение, отображенное в серых тонах, в бинарное (белые и черные пиксели).

– Гистограмма и гистограммная обработка, характеризующая частоту встречаемости на изображении пикселей одинаковой яркости.

– Сегментация, используемая для поиска и подсчета деталей. Сегментацией изображения называется разбиение изображения на непохожие по некоторому признаку области. Предполагается, что области соответствуют реальным объектам, или их частям, а границы областей соответствуют границам объектов.

- Оптическое распознавание символов: автоматизированное чтение текста, например, серийных номеров.
- Измерение линейных размеров объектов.
- Сопоставление шаблонов: поиск, подбор, и/или подсчет конкретных деталей.
- Инвариантные алгоритмы сопоставления точечных особенностей на изображениях – обнаружение и сопоставление точечных особенностей на изображениях [4].

В большинстве случаев, системы машинного зрения используют последовательное сочетание этих методов обработки для выполнения полного инспектирования.

Обработка изображений – это любая форма обработки информации, для которой входные данные представлены изображением, например, фотографиями или видеокадрами. Обработка изображений может осуществляться как для получения изображения на выходе, так и для получения другой информации. Кроме статичных двумерных изображений, требуется также обрабатывать изображения, изменяющиеся со временем, например видео.

С математической точки зрения цифровое изображение представляет собой двумерную матрицу  $Im[x,y]$  размера  $DimX \times DimY$ , где  $x$ -целое число от 0 до  $(DimX - 1)$ , описывающее номер элемента в строке матрицы;  $y$ -целое число от 0 до  $(DimY - 1)$ , описывающее номер строки матрицы, в которой расположен данный элемент. При этом сам элемент цифрового изображения (ячейка прямоугольной матрицы), носящий название пиксель  $Im[x,y]$  (pixel, picture element), имеет скалярное целочисленное значение, пропорциональное значению функции распределения яркости  $f(x,y)$  в данной точке плоскости. Следовательно, с цифровым изображением можно совершать те же действия, что и с двумерными матрицами [5].

Таким образом, используя математические преобразования, возможно изменение контрастности, инвертирование изображения, фильтрация от шумов, выделение контура и многие другие действия над изображением.

В локомотивном депо ТЧ-2 Октябрьской железной дороги на стенде магнитопорошкового контроля проходил испытания комплекс машинного зрения, разработанный на кафедре «Электрическая тяга» Петербургского государственного университета путей сообщения. Комплекс включает в себя монохромную видеокамеру, компьютер, оснащенный дополнительной платой для синхронизации изображения, получаемого камерой, и подвижной кареткой с электрическим приводом для установки и перемещения детали. Матрица чувствительных элементов, входящих в состав видеокамеры, предназначена для получения цифрового изображения. В состав матрицы чувствительного элемента входит множество аналого-цифровых преобразователей, предназначенных для преобразования информации о световой интенсивности в цифровое значение [1].

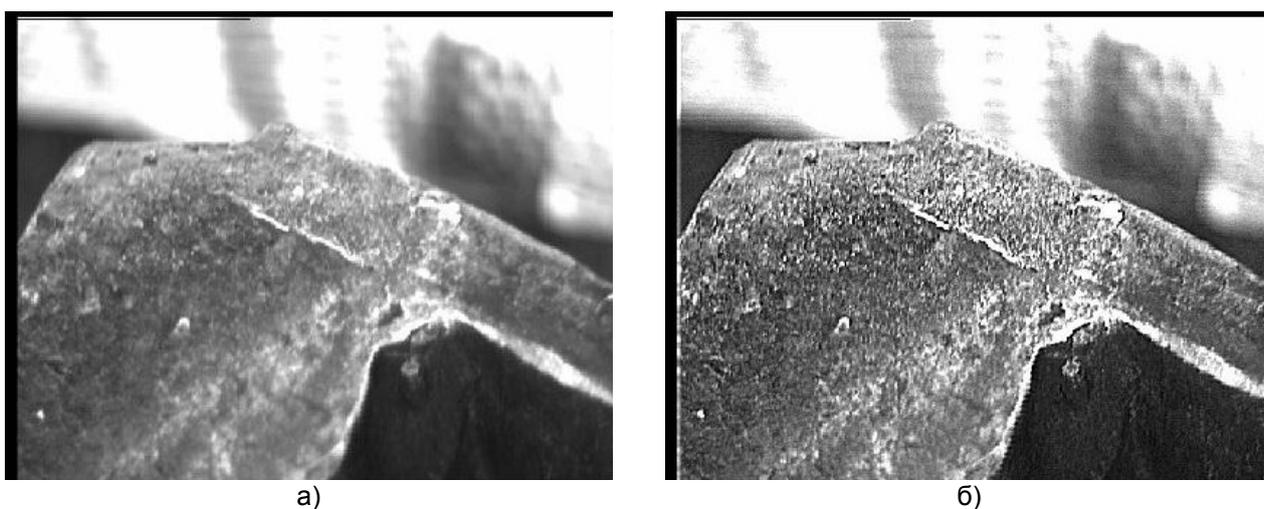


Рисунок 1 – Программная обработка изображения в среде LabView: исходное (а) и обработанное (б) изображения

В качестве программного обеспечения использованы программы National Instruments LabView, National Instruments Vision Assistant и модуль NI Vision Development Module.

В качестве объектов диагностики использованы деталь рессорного подвешивания тележки электровоза «Щека» и маятниковый болт автосцепки [3].

Программная обработка производилась в среде LabView и Vision Assistant. В качестве примеров применения программ выбраны способы обработки матриц, позволяющие существенно усилить четкость изображения дефектов.

В ходе экспериментальных исследований на двух из ряда исследуемых деталей были выявлены усталостные микротрещины. Результаты исследования подтверждены магнито-порошковым методом неразрушающего контроля.

Полученное с помощью камеры изображение поверхности детали «Щека» с микротрещиной было подвергнуто программной обработке функцией Edge Detection Roberts для выделения контура. Исходное и обработанное изображения показаны на рисунке 1.

Полученное с помощью камеры изображение поверхности маятникового болта автоцепки с микротрещиной (рисунок 2) было подвергнуто программной обработке в среде Vision Assistant функциями: Smoothing Median для усиления границ контура и Convolution Highlight Details для усиления контрастности.

Плата синхронизации позволяет делать снимки поверхности с частотой 1 кадр в секунду, при этом размер каждого снимка составляет 64×48 мм, в результате на сканирование поверхности детали среднего размера затрачивается не более 20 секунд.

Перспективными следует считать применения программной обработки изображений для контроля и диагностики поверхностей узлов механической части электрического подвижного состава, подвергаемых эксплуатационным износам, также механической обработке в процессе технологического ремонта.



Рисунок 2 – Программная обработка изображения в среде Vision Assistant

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Интеллектуальная камера NI 17XX. Руководство пользователя (NI Vision). -М.: Nat. Instruments, 2007. -73 с.
- 2 Лысенко, О. Машинное зрение от SICK/IVP / О. Лысенко // Компоненты и технологии. - 2007. -№1. -С. 36.
- 3 Бирюков, И.В. Механическая часть тягового подвижного состава / И.В. Бирюков, А.Н. Савоськин, Г.П. Бурчак. -М.: Трансп., 1992. -440 с.
- 4 Катус, Г.П. Обработка визуальной информации / Г.П. Катус. -М.: Машиностроение, 1990. -324 с.
- 5 Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW и IMAQ Vision / Ю.В. Визильтер [и др.]. -М.: ДМК Пресс, 2007. -464 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** машинное зрение, цифровая обработка изображений, алгоритм  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Цаплин Алексей Евгеньевич, аспирант ФГОУ ВПО «ПГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 190031, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 9, ФГОУ ВПО «ПГУПС»

## УЛУЧШЕНИЕ ПУСКОВЫХ КАЧЕСТВ ДИЗЕЛЕЙ РАЗМЕРНОСТЬЮ 13/14

ОАО «15 центральный авторемонтный завод»

**Д.В. Романов, В.С. Кукис, А.А. Малоземов**

**IMPROVING THE QUALITY STARTING OF THE DIESEL ENGINES OF DIMENSION 13/14**  
 «Central motorcar repair plant No. 15»  
 D.V. Romanov, V.S. Kukis, A.A. Malozemov

The outcomes of cold starting trials of diesel engines by dimension 13/14 with different systems of start-up, pre-launch facilities and facilitation of start-up in cooling chamber are resulted.

*Keywords: diesel engine, starting characteristics, cooling chamber, prestarting preparation, starting aids*

Приведены результаты пусковых испытаний дизелей размерностью 13/14 с различными системами пуска, средствами предпусковой подготовки и облегчения пуска в холодильной камере.

Улучшение пусковых качеств дизелей различного назначения является важным направлением их совершенствования. В настоящее время в составе мобильных машин и энергоустановок широко применяются двигатели типа 4Ч13/14, 4ЧН13/14, 6Ч13/14 и 6ЧН13/14 производства ОАО «ПО Алтайский моторный завод». Завод ведет постоянную работу по совершенствованию их технических и эксплуатационных качеств, включая пусковые характеристики, привлекая для этого ведущие НИИ страны.

Для оценки эффективности различных мероприятий по улучшению пусковых свойств дизелей типа Ч13/14 и ЧН13/14 в ОАО «НИИ автотракторной техники» (г. Челябинск) были проведены испытания дизелей Д-442И и Д-461И с индивидуальными головками цилиндров в различных вариантах комплектации (в том числе с ТКР и без). На дизелях Д-461И отсутствует декомпрессионный механизм, но увеличена на 40% цикловая подача топлива на пусковых режимах, введен двухступенчатый (двухскоростной) редуктор пускового двигателя. Базовые модели дизелей оборудуются системами пуска с пусковым двигателем, а модели с турбонаддувом системами пуска, как с пусковым двигателем, так и с электростартером (ЭССП). Дизели с электростартерной системой пуска также могут быть оборудованы устройствами электрофакельного подогрева впускного воздуха (ЭФП).

Проведение пусковых испытаний в условиях окружающей среды крайне неэффективно, так как возможно только зимой при нестабильных температурах воздуха. Проведение испытаний в составе объекта в «климатических» камерах большого объема требует существенных затрат. Поэтому пусковые испытания проводились в холодильной камере объемом камеры, 67,5 м<sup>3</sup>, которая обеспечивала минимальную температуру окружающей среды минус 55 °С и максимальную отводимую от объекта испытаний тепловую мощность в условиях теплового баланса – 130 кВт. Методика испытаний – по ГОСТ 18509, требования к номинальным пусковым характеристикам – по ГОСТ 20000.

Пусковые характеристики дизелей Д-442И и Д-461И с электростартерной системой пуска приведены на рисунке 1. Их сравнение показывает на более высокие пусковые качества дизеля Д-461И.

Дизель Д-461И без применения ЭФП и пускового обогатителя топлива запускается при температуре минус 10 °С, тогда как Д-442И без ЭФП и обогатителя топлива – минус 5 °С. При температуре минус 10 °С дизель Д-442И запускается с применением пускового обогатителя топлива.

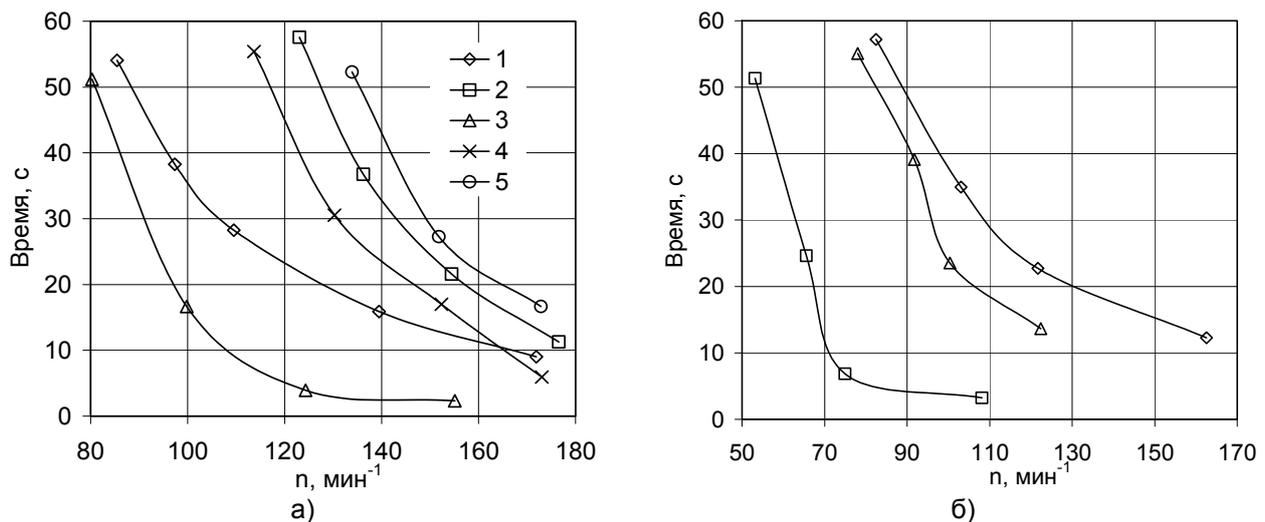


Рисунок 1 – Пусковые характеристики дизелей Д-442И (а): 1-при температуре (-5) °С без ЭФП и обогатителя, 2-при температуре (-10) °С без ЭФП, с обогатителем, 3-при температуре (-10) °С с ЭФП; 4-при температуре (-15) °С с ЭФП; 5-при температуре (-20) °С с ЭФП; Д-461И (б): 1-при температуре (-10) °С без ЭФП, и обогатителя; 2-при температуре (-15) °С с ЭФП; 3-при температуре (-20) °С с ЭФП

С применением ЭФП при температуре минус 20 °С дизель Д-461И запускается при частоте вращения коленчатого вала около 100  $\text{мин}^{-1}$ , а дизель Д-442И – при частоте 135  $\text{мин}^{-1}$ . Минимальная температура пуска дизелей Д-442И и Д-461И без применения ЭФП составляет

минус 10 °С, а с применением ЭФП – минус 15 °С для дизеля Д-442И и минус 20 °С для дизеля Д-461И. Запуск дизеля Д-442И при температуре минус 20 °С обеспечивается при использовании для питания стартера 321.3708 полностью заряженных аккумуляторных батарей.

Анализируя характеристики прокручивания коленчатого вала дизелей, приведенные на рисунке 2, необходимо отметить, что дизель Д-461И при температуре минус 20 °С на масле М4з/8В<sub>2</sub> прокручивается с частотой 100-110 мин<sup>-1</sup>, а дизель Д-442И – с частотой 120 мин<sup>-1</sup>.

Частота прокручивания дизеля Д-442И с ЭССП на маслах М8Г<sub>2</sub>К и М4з/8В<sub>2</sub> при температуре минус 10 °С составляет соответственно 225 и 233 мин<sup>-1</sup>. А при температуре минус 20 °С – 152 и 200 мин<sup>-1</sup>. При температуре минус 20 °С начало прокручивания коленчатого вала дизелей затруднено даже на масле М4з/8В<sub>2</sub> и происходит только после длительной работы пускового двигателя (не менее 4-5 минут для дизеля Д-442И и не менее 8-10 минут для дизеля Д-461И) на холостом ходу, которая необходима для его прогрева и подготовки к принятию нагрузки. Применение двухскоростного редуктора в системе пуска дизеля Д-461И облегчает работу пускового двигателя за счет использования замедленной передачи в начальный период прокручивания.

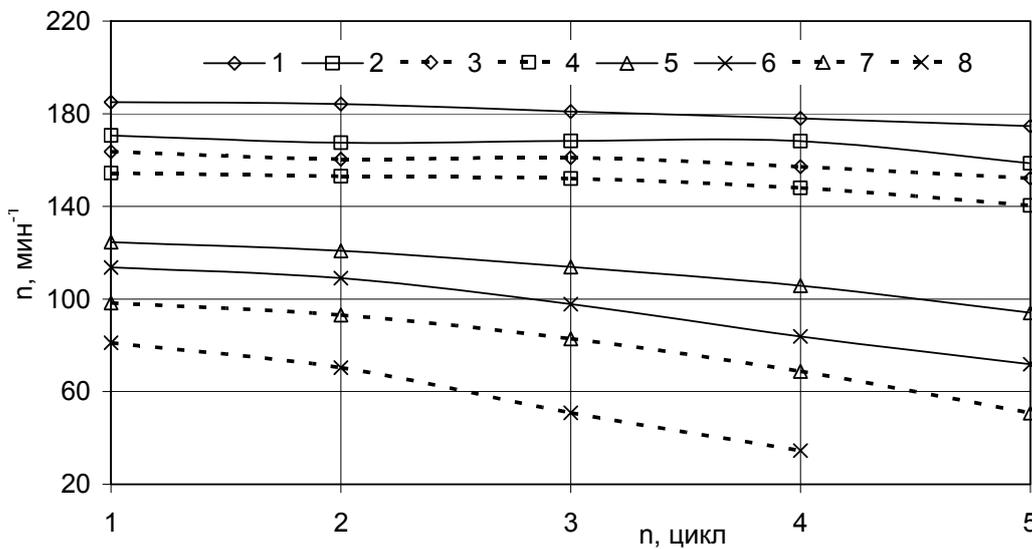


Рисунок 2 – Характеристика прокручивания коленчатого вала дизелей Д-461И (1, 3, 5, 7) и Д-442И (2, 4, 6, 8) на масле М8Г<sub>2</sub>К (3, 4, 7, 8) и М4з/8В<sub>2</sub> при температуре (-10) °С (1, 2, 3, 4) и при температуре (-20) °С (5, 6, 7, 8)

После прокручивания коленчатого вала дизеля на замедленной передаче в течение 1,5-2,0 минуты при температуре минус 20 °С пусковой двигатель обеспечивает прокручивание коленвала на ускоренной передаче. На замедленной передаче частота прокручивания коленвала дизеля составляет 80-90 мин<sup>-1</sup>, а на ускоренной (прямой) передаче при температуре минус 20 °С на масле М8Г<sub>2</sub>К – 135 мин<sup>-1</sup>, на масле М4з/8В<sub>2</sub> – 180 мин<sup>-1</sup>.

Зависимость момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала дизелей от температуры показана на рисунке 3.

Момент сопротивления прокручиванию дизеля Д-461И на 12-13% выше, чем дизеля Д-442И. Применение маловязкого масла М4з/8В<sub>2</sub> позволяет снизить момент сопротивления в среднем на 20%, что, в свою очередь, обеспечивает повышение скорости прокручивания на 16-18%.

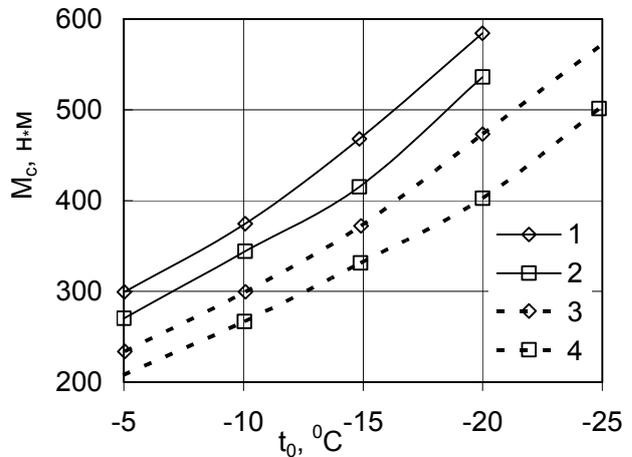


Рисунок 3 – Зависимость момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала дизелей: 1, 3 – Д-461И; 2, 4 – Д-442И; 1, 2 – масло М4з/8В<sub>2</sub>; 3, 4 – масло М8Г<sub>2</sub>К

Кроме повышения скорости прокручивания применение масла М4з/8В<sub>2</sub> позволяет уменьшить время задержки появления давления масла в главной магистрали. При температуре минус 10 °С на масле М8Г<sub>2</sub>К и при температуре минус 20 °С на масле М4з/8В<sub>2</sub> продолжительность задержки появления давления масла в ГММ дизеля Д-461И практически одинакова и составляет около 10 с от начала прокручивания. Давление масла М8Г<sub>2</sub>К при температуре минус 20 °С появляется только через 35-40 с от начала прокручивания.

При проведении испытаний двигателя Д-461И с ЭССП при температуре окружающего воздуха минус 40 °С был использован подогреватель ПЖД-30. В процессе проведения опыта подогреватель проработал около 30 минут, за это время температура антифриза на выходе из двигателя достигла 53 °С, а масло в поддоне (область маслощупа) нагрелось до 5 °С, время пуска составило 6 с (масло М8Г<sub>2</sub>К).

Анализ характеристик продолжительности пуска (рисунок 4) показывает, что продолжительность пуска дизеля Д-461И выше, чем дизеля Д-442И, особенно при температурах ниже минус 15 °С.

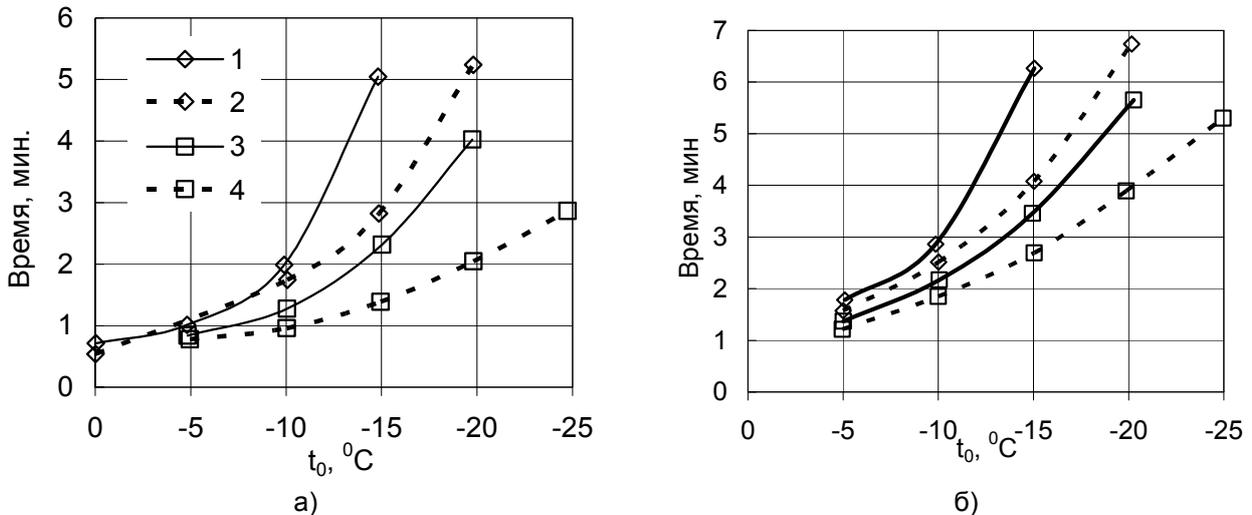


Рисунок 4 – Характеристики продолжительности пуска дизеля Д-442И (а) и Д-461И (б) пусковым двигателем П-530-1: 1, 2 – без ЭФП; 3, 4 – с ЭФП; 1, 3 – масло М4з/8В<sub>2</sub>; 2, 4 – масло М8Г<sub>2</sub>К

Это увеличение продолжительности пуска связано с дополнительным временем прокручивания коленчатого вала дизеля на замедленной передаче редуктора, тогда как пуск дизеля Д-442И производится на одной передаче. Однако общее время работы пускового двигателя с применением односкоростного редуктора больше на 5-7 мин, чем с применением двухскоростного редуктора, так как ГОСТ 18509 предусматривает определение продолжительности пуска дизеля временем прокручивания коленчатого вала до отключения пускового устройства.

Подводя итоги экспериментального исследования можно сделать следующие выводы:

1 Применение ЭФП позволяет снизить минимальную температуру пуска дизелей с ЭССП на масле М8Г<sub>2</sub>К с минус 5 °С до минус 10 °С, на масле М4з/8В<sub>2</sub> – до минус 20 °С, с пусковым двигателем П-350-1 на масле М8Г<sub>2</sub>К до минус 15 °С, на масле М4з/8В<sub>2</sub> – до минус 25 °С. Применение пускового обогатителя топлива позволяет снизить минимальную температуру пуска дизелей на 5 °С (до минус 10 °С).

2 Применение двухскоростного редуктора облегчает работу пускового двигателя при его подготовке к выходу на полную мощность и сокращает общую продолжительность его работы при пуске дизеля при низких температурах на 5-7 минут.

3 Применение пускового подогревателя обеспечивает пуск дизелей типа Ч13/14 и ЧН13/14 при температуре до минус 40 °С.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** дизель, пусковые характеристики, холодильная камера, предпусковая подготовка, средства облегчения пуска

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Романов Дмитрий Викторович, заместитель директора, ОАО «15 центральный авторемонтный завод»

Кукис Владимир Самойлович, докт. техн. наук, профессор, научный консультант  
ОАО «15 центральный авторемонтный завод»

Малоземов Андрей Адиевич, канд. техн. наук, доцент, главный научный сотрудник  
ОАО «15 центральный авторемонтный завод»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630056, г. Новосибирск, ул. Варшавская, 1, ОАО «15 центральный авторемонтный завод»

## КОНЦЕПЦИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В ТРАНСПОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ

ОАО «15 центральный авторемонтный завод»

В.В. Руднев, И.А. Харенко

### THE CONCEPT OF A COMBINED PROPULSIVE PLANT IN A TRANSPORT COMPLEX

«Central motorcar repair plant No. 15»

V.V. Rudnev, I.A. Kharenko

In the article the concepts of a combined propulsive plant are formulated, the synthesis of the scheme of a combined propulsive plant is made, as systems conversing energy including the primary thermal engine, accumulators of its energy and secondary thermal engine.

*Keywords: combined engine, recycling, accumulation, efficiency, the diesel engine*

Сформулированы концепции комбинированной энергетической установки, выполнен синтез схемы комбинированной энергетической установки, как энергопреобразующей системы, включающей первичный тепловой двигатель, аккумуляторы его энергии и вторичный тепловой двигатель.

Актуальными проблемами современного городского транспорта является уменьшение расхода углеводородного сырья и загрязнения окружающей среды отработавшими газами.

Одним из решений этих проблем является совершенствование автомобильных энергетических установок (ЭУ) на базе тепловых двигателей в направлениях повышения их экономичности и снижения токсичности [1]. Радикальным методом решения указанной задачи является реализация принципиальной возможности аккумуляции и утилизации энергии двигателя и трансмиссии. Такое решение может обеспечить повышение коэффициента полезного действия (КПД) ЭУ на 15-30%, а также существенно снизить токсичность отработавших газов. Поскольку другие способы совершенствования тепловых двигателей в направлении повышения их КПД к настоящему времени практически исчерпаны [1], а решение указанной проблемы особенно актуально для ЭУ городского транспорта, доли расходов топлива и кислорода воздуха, а также доля токсичных выбросов которых в общей массе потребления углеводородного сырья и выбросов отработавших газов автомобилями является преобладающей [1].

В связи с ограниченностью резервов совершенствования ЭУ, как энергопреобразующей системы, целесообразен анализ надсистемных факторов, а именно критериев эффективности автомобиля в целом и их взаимосвязи с выходными показателями ЭУ.

Современный городской автомобиль является многоцелевым транспортным средством. Его эффективность в общем случае равна

$$K_3 = \frac{\sum P_{M_i} \cdot T_i \cdot C_o}{P_{эм} \cdot T_o \cdot \sum C_i}, \quad (1)$$

где  $P_{M_i}, T_i, C_i$  – текущие производительность, основные затраты и соответствующее время работы;

$P_{эм}, T_o, C_o$  – эталонные производительность, затраты и долговечность агрегата.

Для анализа преобразуем выражение (1) в следующий вид

$$K_3 = \frac{\sum P_{M_i} \cdot T_i \cdot G_{m_o}}{P_o \cdot T_o \cdot \sum G_{m_i}} = \frac{\bar{P}_{M_{экс}}}{\bar{G}_{m_{экс}}} \bar{T}_1 + \bar{T}_2, \quad (2)$$

где  $P_o, G_{m_o}$  – эталонные производительность автомобиля и эксплуатационный расход топлива при реализации оптимальной тягово-скоростной характеристики;

$\bar{P}_{M_{экс}}, \bar{G}_{m_{экс}}, \bar{T}_1$  – относительные средние производительность, эксплуатационный расход топлива и соответствующее время работы автомобиля при этом;

$\bar{T}_2$  – относительное время работы автомобиля при достижении эталонных показателей,

$$\bar{T}_1 + \bar{T}_2 \leq 1.$$

Практика эксплуатации легковых автомобилей в городских условиях показывает, что их характеристики, близкие к эталонным ( $\bar{T}_2 = 0$ ), практически не реализуются, коэффициент использования мощности двигателя составляет 0,3-0,5 при существенном ухудшении эко-

номичности и повышении токсичности [1, 2]. Причины указанного состоят в том, что номинальная мощность двигателя выбирается не по требуемой величине для преодоления основных сопротивлений движению, а по величине требуемой для кратковременных разгонов. В результате эффективность легкового автомобиля составляет не более  $K_s = 0,2-0,4$ . В то же время, для других транспортных средств, эффективность, как характеристика степени соответствия реализуемого эффекта применению потенциальному, находится на уровне не ниже  $K_s = 0,75-0,8$ .

Таким образом, с позиций целесообразности расходования ресурсов, легковой автомобиль недостаточно эффективен, особенно в качестве городского автомобиля. Для реализации концепции городского автомобиля, которая позволит существенно повысить его эффективность, необходимо сформулировать концепцию его ЭУ. Её главными положениями являются:

- целесообразность максимально возможного снижения мощности теплового двигателя и оптимизации его рабочих режимов для повышения экономичности и снижения токсичности отработавших газов;

- необходимость аккумулирования энергии отработавших газов и инерции движения автомобиля и ее последующее использование для обеспечения требуемых динамических показателей автомобиля;

- возможность частичного восстановления запаса энергии за счет внешнего источника.

Реализация указанной концепции возможна применением различных комбинированных энергетических установок (КЭУ), использующих принципы аккумуляции и рекуперации энергии [2]. Возможны различные схемы КЭУ, однако в настоящее время наиболее разработаны КЭУ в виде энергопреобразующих систем, включающих подсистемы: первичный тепловой двигатель (ПТД), электрогенератор (ЭГ), электрохимический аккумулятор (АК) и тяговый электромотор (вторичный двигатель) с трансмиссией, либо непосредственно мотор-колеса.

Созданы и внедрены в производство эффективные автомобильные КЭУ имеющие ПТД с меньшей мощностью на 25-30% чем в автомобилях-аналогах, и достигнутым повышением топливной экономичности в среднем на 15-20% при снижении токсичности отработавших газов на 30-50% [2]. Однако возможны схемы КЭУ, реализующие рассмотренные принципы другими средствами.

Для их синтеза следует выделить следующие главные функции, выполняемые КЭУ, исходя из сформулированной концепции:

- преобразование химической энергии топлива в тепловую и механическую работу;
- аккумулирование энергии в тепловой и механической форме;
- использование аккумулированной энергии;
- рекуперация части энергии движения автомобиля.

Морфологический анализ с помощью матрицы «функция-средство реализации» позволил синтезировать КЭУ в виде энергопреобразующей системы обеспечивающей, на наш взгляд, максимальное снижение тепловых потерь и потерь на торможение автомобиля, пригодной для использования на мобильной технике и конкурентноспособной по сравнению с рассмотренной выше. Предлагаемая КЭУ, в виде энергопреобразующей системы, состоит из первичного теплового двигателя (ПТД), аккумуляторов энергии в форме теплоты и работы и вторичного теплового двигателя (ВТД), использующего накопленную в аккумуляторах энергию и способного пополнять её путем рекуперации, например в режимах торможения. Важно, что мощность, развиваемая первичным тепловым двигателем, не связана с потребляемой для преодоления дорожного сопротивления в конкретный момент. Поэтому ПТД может работать на наиболее экономичном стационарном режиме. Мощность ПТД определяется из баланса выработанной энергии в формах теплоты и работы и используемой энергии в форме работы с учетом возможной рекуперации. Энергетический баланс представлен в общем виде

$$(N_e^{nm\delta} \cdot t_1 + Q^{nm\delta} \cdot t_1) \eta_{ак} = N_e^{sm\delta} \cdot t_2 - N_p^{sm\delta} \cdot t_3, \quad (1)$$

где  $N_e^{nm\delta}$ ,  $N_e^{sm\delta}$ ,  $N_p^{sm\delta}$  – эффективные мощности ПТД и ВТД, рекуперированная мощность;

$Q^{nm\delta}$  – часть утилизированной энергии ПТД в форме теплоты;

$\eta_{ак}$  – КПД, оценивающий потери в процессах аккумулирования энергии ПТД;

$t_1$  – время работы ПТД;

$t_2$  – время работы ВТД;

$t_3$  – время рекуперации.

Анализ показал, что наиболее целесообразным техническим решением для практической реализации предлагаемых схем является альтернативная комбинированная энергетическая установка (рисунок) состоит из первичного теплового двигателя – ДВС, аккумуляторов энергии в форме теплоты и сжатого воздуха и вторичного теплового двигателя, использующего накопленную в аккумуляторах энергию и способного пополнять её путем рекуперации, например в режимах торможения. В качестве ВТД предлагаем использовать двух или четырехтактный ДВС, который на установившихся режимах используется как пневматический мотор мощностью до 10 кВт, на режиме пиковых нагрузок как дизельный двигатель. За счет подачи в дизель сжатого воздуха из пневматического аккумулятора мощность возрастает до 300 кВт. На режиме торможения двигателем ВТД используется как компрессор для пополнения пневматического аккумулятора сжатым воздухом.

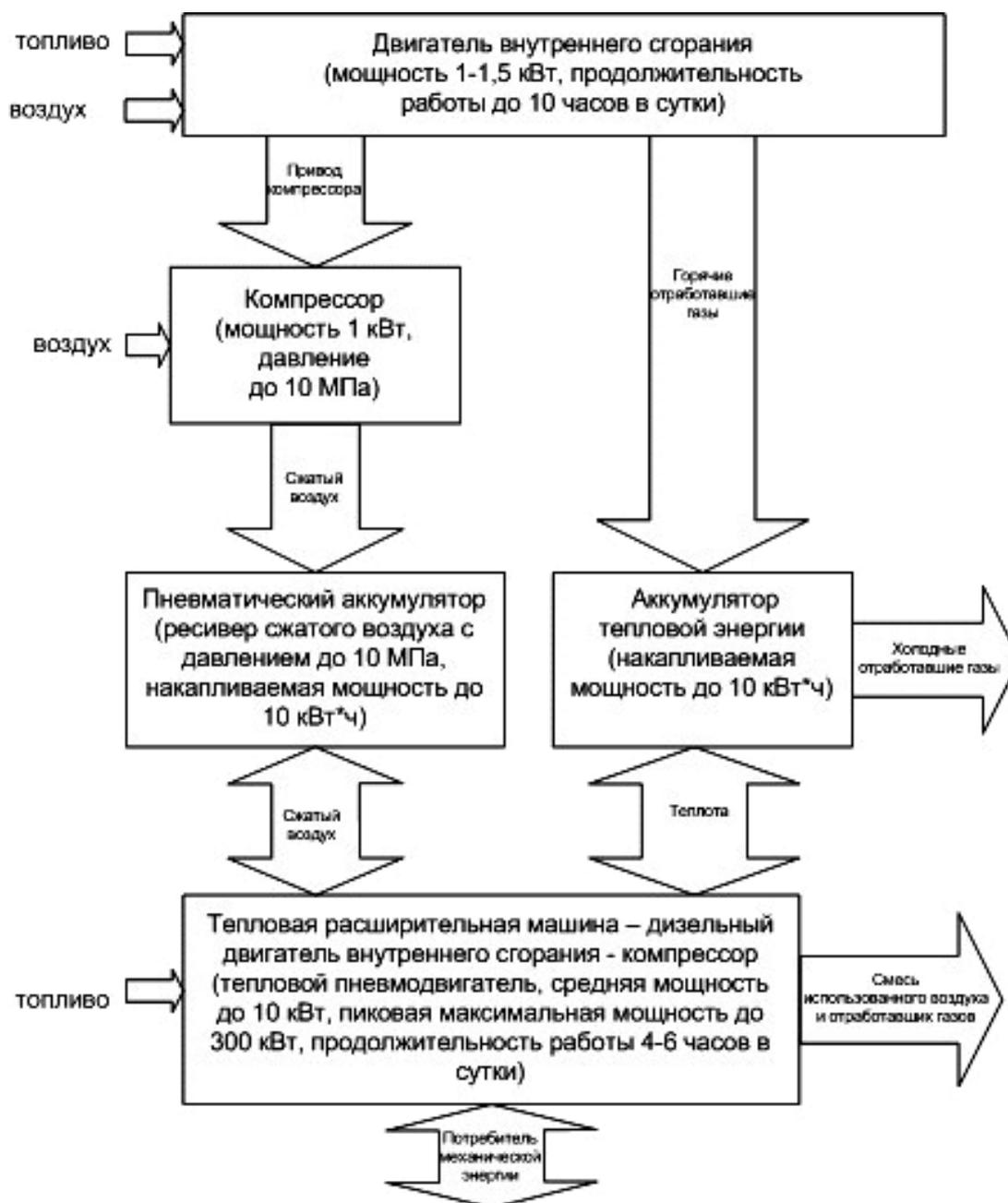


Рисунок – Комбинированная энергетическая установка

Мощность, развиваемая ПТД не связана с потребляемой для преодоления дорожного сопротивления в конкретный момент времени. Поэтому ПТД может работать на наиболее экономичном стационарном режиме. Необходимая эффективная мощность ПТД определя-

ется из баланса выработанной энергии (теплоты и работы) и используемой энергии в форме работы с учетом возможной рекуперации.

Для определения эффективной мощности ПТД использованы имеющиеся опытные данные по структуре цикла движения автомобиля и доле времени рекуперации (режимы торможения) [1, 2], а также данные по потерям энергии при её аккумулировании и передаче в подводных аппаратах с тепловыми аккумуляторами. Например, при умеренно интенсивной эксплуатации автомобиля массой 800 кг в городском цикле (ГОСТ 20306) в течение 10 ч с пробегом 400 км с характерной средней скоростью движения 18-20 км/ч [2] и времени работы ПТД в течение 18-20 ч его мощность составляет не более 3-5 кВт. Полученная мощность в 5-7 раз меньше мощности ЭУ автомобиля-аналога, выполненного по традиционной схеме и на 20-30% меньше мощности ПТД для рассмотренной ранее схемы КЭУ с электропреобразованием энергии теплового двигателя. При этом возможности аккумуляторов позволяют кратковременно увеличивать мощность ВТД для обеспечения требуемых динамических показателей городского автомобиля. Кроме отмеченного к преимуществам рассматриваемой КЭУ по сравнению с другими относятся следующие:

- возможность значительного снижения расхода топлива пропорционально снижению мощности первичного теплового двигателя;
- возможность значительного снижения токсичности отработавших газов ПТД в процессе аккумулирования их тепловой энергии;
- существенно более низкие стоимость и массо-габаритные показатели.

Таким образом, на основе сформулированной концепции КЭУ городского транспорта, выполнен синтез схемы КЭУ, как энергопреобразующей системы, включающей ПТД, аккумуляторы его энергии и ВТД и показана возможность решения экономических и экологических проблем транспортного комплекса применением КЭУ. Приведенные данные свидетельствуют об эффективности предложенной схемы КЭУ городского автомобиля и указывают на необходимость проведения соответствующих научно-исследовательских работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Говорущенко, Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н.Я. Говорущенко. -М.: Трансп.,1990. -135 с.
- 2 Умняшкин, В.А. Разработка методики расчета мощностных и конструктивных параметров энергосилового устройства электромобиля гибридного типа на примере легкового автомобиля / В.А. Умняшкин, Н.М. Филькин // Вестн. РАТ / КГУ. -Курган, 1999. -Вып.2. -С. 49-53.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *комбинированный двигатель, утилизация, аккумулирование, эффективность, дизель*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Руднев Валерий Валентинович, канд. техн. наук, доцент ОАО «15 центральный авторемонтный завод»*  
*Харенко Игорь Алексеевич, начальник отдела ОАО «15 центральный авторемонтный завод»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630056, г. Новосибирск, ул. Варшавская, 1, ОАО «15 центральный авторемонтный завод»*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ ЯДРА СЕЧЕНИЯ ДЛЯ СТЕРЖНЯ С КРУГЛОЙ ЧАСТЬЮ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**Н.С. Инкижинов**

**THE STUDY FORMS THE CORE SECTION FOR THE ROD WITH THE ROUND PART OF THE CROSS-SECTION**  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
N.S. Inkizhinov

This article defines the conditions under which a rod with a circular cross-section of part of the core cross section takes the form of an ellipse or circle.

*Keywords: nucleus cross section, coordinates cross-section of the rod, ellipse, circle, equation of balance*

Определены условия, при которых в стержне с круглой частью поперечного сечения ядро сечения принимает форму эллипса либо окружности.

Рассмотрим стержень, поперечное сечение которого изображено на рисунке 1. Элементы поперечного сечения: 1-прямоугольник  $r \times 2r$ , 2-треугольник  $r \times r$ ; 3-полукруг.

$Q$  – центр дуги окружности;

$C$  – центр площади поперечного сечения;

$x_0, y_0$  – начальные оси координат;

$x_c, y_c$  – центральные оси координат;

$u, v$  – главные центральные оси координат;

$a, b$  – координаты центра  $Q$  дуги окружности в главных центральных осях  $u, v$  [1],

$$a = u_Q = y_Q \sin \alpha_0 + x_Q \cos \alpha_0; \quad (1)$$

$$b = v_Q = y_Q \cos \alpha_0 - x_Q \sin \alpha_0, \quad (2)$$

где  $x_Q, y_Q$  – координаты точки  $Q$  в осях  $x_c$  и  $y_c$ .

$\alpha_0$  – угол, определяющий положение главных центральных осей  $u$  и  $v$ .

Координаты ядра сечения, соответствующие полуокружности, вычисляются с учетом (1), (2) [2]:

$$u_{\text{я}} = -i_v^2 \frac{\cos \varphi}{a \cos \varphi + b \sin \varphi + r}; \quad (3)$$

$$v_{\text{я}} = -i_u^2 \frac{\sin \varphi}{a \cos \varphi + b \sin \varphi + r}, \quad (4)$$

где  $i_v^2, i_u^2$  – квадраты радиусов инерции;

$\varphi$  – параметр.

Ядро сечения 1-2-3-4 приведено на рисунке 2.

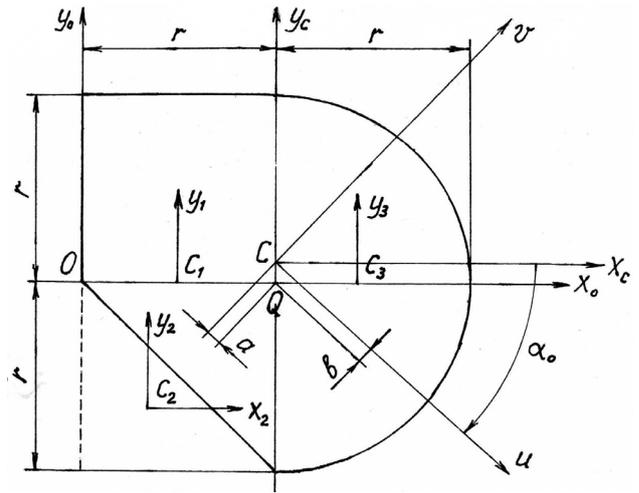


Рисунок 1 – Поперечное сечение стержня

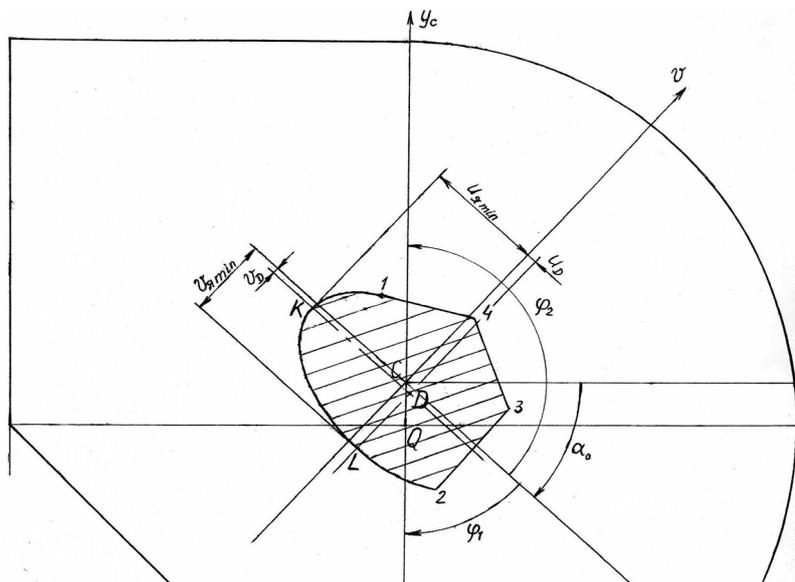


Рисунок 2 – Ядро сечения

Кривая 1-2 ядра сечения соответствует полуокружности поперечного сечения, точки  $K$  и  $L$  – экстремальные точки.

Предположим, что кривая 1-2 является частью эллипса.

Поместим центр  $D$  эллипса в точку пересечения нормалей, проходящих через точки  $K$  и  $L$ , и запишем каноническое уравнение эллипса с полуосями  $DK$  и  $DL$

$$\left( \frac{u_{\text{я}} - u_D}{a_{\text{э}}} \right)^2 + \left( \frac{v_{\text{я}} - v_D}{b_{\text{э}}} \right)^2 = 1, \quad (5)$$

где  $u_D, v_D$  – координаты центра эллипса,  
 $a_э, b_э$  – длины полуосей эллипса.

Подставим в каноническое уравнение эллипса (5) входящие в него величины, проведем преобразования используя относительные координаты:

$$\alpha = \frac{a}{r}; \quad \beta = \frac{b}{r}.$$

В результате получим следующее выражение

$$\begin{aligned} & (\alpha + \sqrt{1 - \beta^2})^2 \left[ (\beta \sqrt{1 - \alpha^2} + 1) \cos \varphi + \alpha (\beta \sin \varphi + 1) \right]^2 + \\ & + (\beta + \sqrt{1 - \alpha^2})^2 \left[ (\alpha \sqrt{1 - \beta^2} + 1) \sin \varphi + \beta (\alpha \cos \varphi + 1) \right]^2 = \\ & = (\alpha \cos \varphi + \beta \sin \varphi + 1)^2 (\alpha \sqrt{1 - \beta^2} + \beta \sqrt{1 - \alpha^2} + 1)^2. \end{aligned} \quad (6)$$

Выражение (6) можно применять, если  $\alpha$  и  $\beta$  принадлежат отрезку  $[0, 1]$ . В противном случае, когда в выражении появляются комплексные числа, линия ядра не сопоставима с формой эллипса.

Рассмотрим частные случаи применения выражения (6):

1)  $\alpha = 0; \beta = 0$

$$\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi = 1.$$

Это уравнение окружности с центром в начале  $C$  координат.

2)  $\alpha = 0$

$$(1 - \beta^2)(\beta + 1)^2 \cos^2 \varphi + (\beta + 1)^2 (\sin \varphi + \beta)^2 = (\beta \sin \varphi + 1)^2 (\beta + 1)^2.$$

Делим выражение на  $(\beta + 1)^2$

$$\begin{aligned} & (1 - \beta^2) \cos^2 \varphi + (\sin \varphi + \beta)^2 = (\beta \sin \varphi + 1)^2; \\ & \cos^2 \varphi + \beta^2 \cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi + 2\beta \sin \varphi + \beta^2 = \beta^2 \sin^2 \varphi + 2\beta \sin \varphi + 1; \\ & 0 = 0. \end{aligned}$$

Уравнение является тождеством, значит, ядро сечения имеет форму эллипса.

3)  $\beta = 0$

Уравнение (6) также является тождеством, значит, ядро сечения имеет форму эллипса.

4)  $\alpha = 1; \beta = 1$

В этом случае выражение (6) не является тождеством, следовательно, оно не является уравнением эллипса.

Обобщая рассмотренные частные случаи для  $0 \leq (\alpha, \beta) \leq 1$ , можно сделать вывод, что когда центр  $Q$  окружности сечения совпадает с общим центром  $C$  площади сечения, то ядро сечения имеет форму окружности с тем же центром  $C$ . Когда точка  $Q$  лежит на одной из главных центральных осей  $u$  или  $v$ , то ядро сечения имеет форму эллипса, центр  $D$  которого лежит на той же главной центральной оси, что и центр  $Q$ . И, наконец, когда центр  $Q$  окружности сечения не совпадает ни с одной из главных центральных осей  $u$  или  $v$ , то кривая ядра сечения не является ни окружностью, ни эллипсом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. -М., 2000. - 864 с.
- 2 Инкижинов, Н.С. Математическое обоснование координат ядра сечения для поперечного сечения стержня с дугой окружности / Н.С. Инкижинов, В.И. Фомин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№2. -С. 276-281.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ядро сечения, координаты, поперечное сечение стержня, эллипс, окружность, уравнение остатка

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Инкижинов Николай Сергеевич, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

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

## **ВАРИАНТЫ ПРОПУСКА ПОЕЗДОВ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ И ЗАТРУДНЕНИЯХ В ДВИЖЕНИИ НА ДВУХПУТНЫХ ЛИНИЯХ**

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**А.В. Дмитренко, А.Н. Рожков**

**VARIANTS OF THE ADMISSION OF TRAINS AT MAJOR REPAIRS AND DIFFICULTIES IN MOVEMENT ON TWO-ACCEPTABLE LINES**

«Siberian state transport university»

A.V. Dmitrenko, A.N. Rozhkov

In article receptions of the admission of trains at major repairs the ways providing reduction of total delays of cargo trains along the line on the main railroad lines are stated

*Keywords: railway, sea, a stage, port, a train, a way, throughput, repair, station, transport*

Изложены приемы пропуска поездов при капитальном ремонте пути, обеспечивающие сокращение суммарных задержек грузовых поездов в пути следования на магистральных железнодорожных линиях.

Расширение экономических связей между государствами позволило в последние годы увеличивать объемы международной торговли. При этом значительно увеличились размеры перевозок с использованием средств транспорта. В то же время, на стыке разных видов транспорта в течение нескольких десятилетий из-за несогласованности в их работе на железных дорогах страны происходили длительные сбои в движении поездов вследствие несвоевременной выгрузки вагонов морскими портами Дальнего Востока. Вследствие несвоевременного приема вагонов морскими портами на любой момент времени на Транссибирской магистрали находилось оставленными на промежуточных станциях участков без локомотивов и локомотивных бригад многие десятки составов грузовых поездов.

В сложившихся обстоятельствах, кроме усиления мощности технических устройств морских портов, сократить простои поездов из-за их неприема возможно достичь не только усилением мощности технических устройств пунктов выгрузки, но и рациональным управлением пропуска поездов на Транссибирской магистрали в случае выполнения на дорогах работ по капитальному ремонту пути.

При капитальном ремонте полностью заменяется верхнее строение пути на новые элементы: рельсы, шпалы и скрепления. В значительной мере добавляется щебень, укрепляется земляное полотно. Это позволяет повысить скорость движения и вес грузовых поездов, осваивать повышенные объемы перевозок.

Длительный перерыв в движении поездов при капитальном ремонте пути вызывает продолжительные простои поездов. В то же время, установлением рациональных вариантов управления на железнодорожном транспорте возможно сокращать задержки грузовых поездов перед пунктами наибольших сбоев в движении поездов из-за повышенного парка вагонов.

В ранее выполненных научных исследованиях для отдельных изолированных перегонов были установлены величины задержек грузовых поездов из-за перерывов в движении различной продолжительности [1-3]. Для двухпутных загруженных железнодорожных линий при капитальном ремонте одного главного пути движение поездов по второму пути рекомендуется осуществлять пакетами попеременно в обоих направлениях при равном числе поездов по направлениям движения [1, 2].

При оценке эффективности организации пропуска поездов на двухпутных линиях необходимо дополнительно учитывать факторы, использование которых позволяет сокращать задержки грузовых поездов, вызванные выполнением работ по капитальному ремонту пути:

– Характер пропуска поездов по ремонтируемым перегонам в зависимости от размеров движения двухпутных линий.

– Возможность сокращения суммарных задержек грузовых поездов с учетом управления движением по ремонтируемым перегонам в зависимости от характера расположения парка вагонов в целом для всей сети железных дорог страны.

При установлении рациональных вариантов организации управления в статье учитывалась особенность пропуска поездов по ремонтируемым перегонам в зависимости от разме-

ров движения, которые для двухпутных железнодорожных линий могут иметь самую различную величину: *малые, средние и повышенные размеры движения* [2, 3].

Для *малых* размеров движения, в пределах до 20 пар поездов в сутки, выполнение работ по капитальному ремонту пути практически не вызывает дополнительных задержек грузовых поездов. В этом случае по ремонтируемому перегону становится целесообразным осуществлять беспрепятственный пропуск только одиночных грузовых поездов.

Для *средних* размеров движения, не превышающих величины пропускной способности ремонтируемого перегона при пакетном движении, обеспечивается пропуск больших размеров движения, по сравнению с первым условным вариантом. При этом будут возникать дополнительные задержки грузовых поездов за счет образования пакетов, которые возрастают с увеличением размеров движения и пропорциональны продолжительности выполнения работ по капитальному ремонту пути.

Совершенно другие условия в управлении движением создаются для *повышенных размеров движения* двухпутных железнодорожных линий, превышающих пропускную способность однопутных ремонтируемых перегонов при нескольких поездах в пакете. В этом случае не все поступающие в период «окна» грузовые поезда могут быть пропущены по ремонтируемому перегону. При этом общее число пропущенных поездов с двух примыкающих направлений оказывается меньше числа поездов, поступающих в период «окна» (рисунок 1).

Общая величина задержанных поездов, вызванных перерывом в движении поездов для повышенных размеров движения

$$\sum Nt_{зп} = \sum Nt_{зп}^{пак} + \sum Nt_{зп}^{нед}, \quad (1)$$

где  $\sum Nt_{зп}^{пак}$  – задержки поездов, вызванные образованием пакетов;

$\sum Nt_{зп}^{нед}$  – задержки поездов, вызванные недостатком в пропускной способности железнодорожной линии.

Средствами сокращения задержек грузовых поездов не только для ремонтируемых перегонов на загруженных железнодорожных линиях, но и в целом на всей сети дорог, при ремонте пути являются способы:

- Организация пропуска неравного числа поездов по направлениям движения, обеспечивающего стабилизацию движения в целом на всей сети железных дорог страны.

- Организация вождения соединенных грузовых поездов в случае пропуска повышенного потока поездов по ремонтируемым перегонам.

Порядок пропуска поездов при ограничениях в пропускной способности ремонтируемых перегонов для повышенных размеров движения может оказать существенное влияние на суммарные задержки грузовых поездов в целом для всех железных дорог страны.

В случае наличия повышенных размеров движения не все поступающие грузовые поезда будут пропущены по ремонтируемому перегону в период выполнения работ по капитальному ремонту пути. Общее количество задержанных поездов возрастает с увеличением продолжительности «окон», а также с ростом размеров движения. Управлением движением и организацией пропуска по ремонтируемому перегону *неравного количества поездов по направлениям движения* в период выполнения работ по капитальному ремонту пути возможно легко менять величину парка вагонов отдельных полигонов и в быстрые сроки влиять на суммарные задержки грузовых поездов в целом для всей сети железных дорог страны. Совмещая задержки грузовых поездов из-за ограничений в пропускной способности перегонов при «окнах» по капитальному ремонту пути с возможными фактическим их задержкам из-за повышенного парка вагонов перед пунктами выгрузки возможно достигать сокращения суммарных задержек грузовых поездов в целом по всей сети железных дорог страны.

В случае выполнения работ по капитальному ремонту пути для высоких размерах движения становится целесообразным временно задерживать поезда в сторону с повышенным парком вагонов. Данный вариант управления позволяет пропускать большое количество

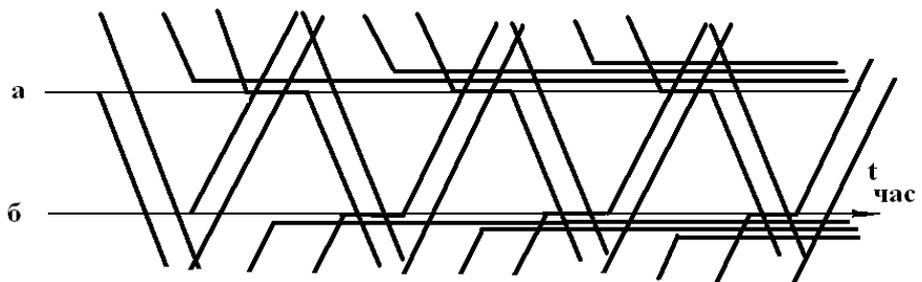


Рисунок 1 – Схема пропуска повышенных размеров движения

грузовых поездов по ремонтируемому перегону в сторону отсутствия затруднений, куда ход свободный.

Одним из средств сокращения задержек поездов в период выполнения работ по капитальному ремонту пути в настоящее время рекомендуется *вождение составов соединенных грузовых поездов*. Их пропуск позволит для повышенных размеров движения увеличивать количество пропущенных в период «окна» поездов. Для повышенных размеров движения будет обеспечиваться сокращение числа задержанных к моменту окончания «окна» грузовых поездов, по сравнению с одиночными грузовыми поездами.

При соединении и разъединении составов грузовых поездов возникнут трудности, связанные с их простоем в случае пропуска по ремонтируемым перегонам. Поэтому для сокращения суммарных расходов объединение и соединение грузовых поездов необходимо производить в крайних случаях, когда другими способами невозможно обеспечивать ускоренный пропуск повышенного числа грузовых поездов по магистральным двухпутным линиям в период выполнения работ по капитальному ремонту пути.

Совершенно другие условия с организацией движения по ремонтируемому перегону создаются в случае, когда грузовые поезда пропускаются в сторону повышенного парка вагонов, куда имеются последующие длительные затруднения в движении перед пунктами затруднений с выгрузкой. Данная ситуация в управлении приводит к тому, что в сторону основных затруднений в движении на магистрали с повышением парком вагонов становится целесообразным осуществлять пропуск соединенных составов грузовых поездов. В этом случае как соединение, так и разъединение составов грузовых поездов не будут вызывать их дополнительных задержек в целом на всем пути следования. Такой вариант пропуска составов грузовых поездов приводит к тому, что за счет применения рационального варианта пропуска грузовых поездов по ремонтируемому перегону обеспечивается сокращение суммарных задержек составов грузовых поездов в пути следования.

Характер пропуска поездов при капитальном ремонте пути для магистральной железнодорожной линии приведен на рисунке 2.

Выше приведенный рациональный вариант управления движением при капитальном ремонте пути приводит к тому, что с меньшими задержками перед ремонтируемыми перегонами обеспечивается быстрое уменьшение парка вагонов особо загруженных участков. Это позволит в быстрые сроки улучшить эксплуатационную

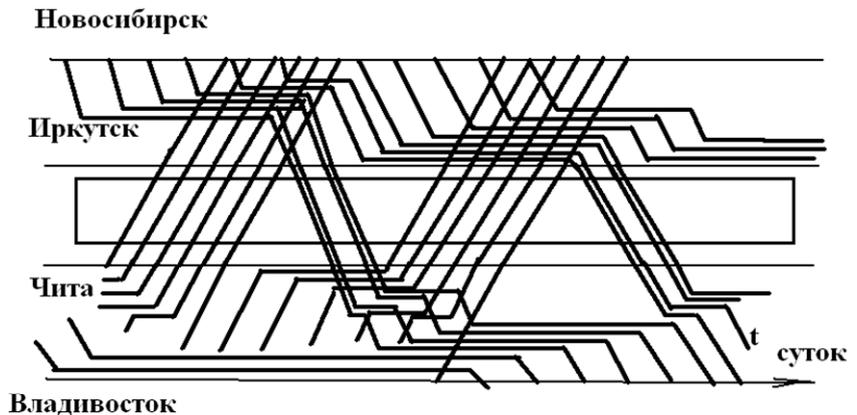


Рисунок 2 – Рациональный вариант пропуска поездов при капитальном ремонте пути для двухпутной железнодорожной линии

обстановку самых загруженных участков за счет быстрого уменьшения там избыточного парка вагонов. Уменьшение в период «окна» количества пропущенных составов грузовых поездов в сторону затруднений позволяет значительно сокращать их задержки на всем дальнейшем пути следования, особенно перед пунктами наибольших сбоев в движении.

Дополнительные задержки составов грузовых поездов при их разъединении снижают эффективность организации вождения составов грузовых поездов в случае выполнения работ по капитальному ремонту пути. Величина данных задержек значительно возрастает с увеличением общего количества соединенных составов грузовых поездов. Данные задержки грузовых поездов также возрастают с увеличением размеров движения двухпутных железнодорожных линий. Поэтому данные составы соединенных грузовых поездов нецелесообразно осуществлять в сторону, куда движение поездов осуществляется беспрепятственно.

Образование соединенных грузовых поездов, их соединение и разъединение в сторону длительных сбоев в движении из-за повышенного парка вагонов в целом не будет вызывать увеличения времени простоя грузовых поездов в пути следования. При этом вождение соединенных составов грузовых поездов становится целесообразной осуществлять для двухпутных железнодорожных линий только в сторону основных затруднений в движении.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Грунтов, П.С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте / П.С. Грунтов и др. -М.: Транспорт. 1994, -544 с.  
2 Яхимович, В.В. Опыт организации движения при капитальном ремонте пути / В.В. Яхимович // Железнодорожный транспорт. -2001. -№1. -С. 26-30.  
3 Яхимович, В.В. Эффективность «окон» большой продолжительности / В.В. Яхимович, А.Н. Никулин, А.В. Дмитренко // Железнодорожный транспорт. -1999. -№5. -С. 34-36.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** железнодорожный, морской, перегон, порт, поезд, путь, пропускная способность, ремонт, станция, транспорт  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Дмитренко Алексей Васильевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»  
Рожков Анатолий Николаевич, ст. преподаватель ГОУ ВПО «СГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОВОДЯЩЕЙ РЕЗИНЫ, УСИЛЕННОЙ ПЕЧНЫМ УГЛЕРОДОМ**

ГУП «Учреждение Российской академии наук «Институт проблем переработки углеводородов» СО РАН  
ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**В.Н. Аникеев, О.А. Малаенко**

**MODELING OF STRUCTURE AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF FURNACE CARBON BLACK**  
«Institute of hydrocarbon processing»  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
V.N. Anikeev, O.A. Malaenko

The paper considers the possibility of modeling structure of heating carbon black and gives calculation formulas to control the quality and production technology for electrical characteristics.

*Keywords: carbon black, structure, model, elastomeric material*

Выполнен анализ современных представлений об усилении эластомеров техуглеродом и роли техуглерода в изменения структуры резин.

Усиление эластомеров техуглеродом, превратило резину в уникальный конструкционный материал для техники XX века [1]. При смешении техуглерод формирует в эластомерной матрице межфазную область из связанного эластомера и избирательно сорбированных компонентов и локализуется вместе с ней в углерод-каучуковых частицах, резко усложняя структуру резины [2]. Во многих случаях в качестве добавок в резины используется печной техуглерод, поэтому особое внимание в данной статье уделено именно этому типу техуглерода. При попадании частицы в каучуковую матрицу происходит ее преобразование, которое целесообразно рассматривать согласно теории самосогласованного поля. То есть все взаимодействия между частицами эластомера регулируются согласно квантово-механическим законам системы. В зависимости от концентрации частиц  $P$  можно говорить, что данная конструкция обладает (или не обладает) выраженными электропроводными свойствами и обладает (или не обладает) электропроводностью  $G$  [3].

В зависимости от внешних условий частицы печного техуглерода (рисунок) соединяются в сферические цепочки или в вытянутые в одном направлении – игольчатые [5]. Каждая цепочка обладает собственными: индуктивностью  $L$ ; сопротивлением  $R$  и емкостью  $C$  (рисунок).

Если концентрация частиц обладающих электропроводностью  $G_m$  достигает  $1/3$  от общего числа, то у многих композиционных материалов возникает так называемый порог протекания, то есть такое состояние при котором диэлектрическая матрица с добавками техуглерода становится электропроводящим материалом. Ее расчет для сферических частиц целесообразно проводить по формуле [6]

$$G = G_m \frac{3P - 1}{2}, (1)$$

где  $G$  – электропроводность композиционного материала;  
 $G_m$  – электропроводность введенного техуглерода;  
 $P$  – концентрация введенного техуглерода.

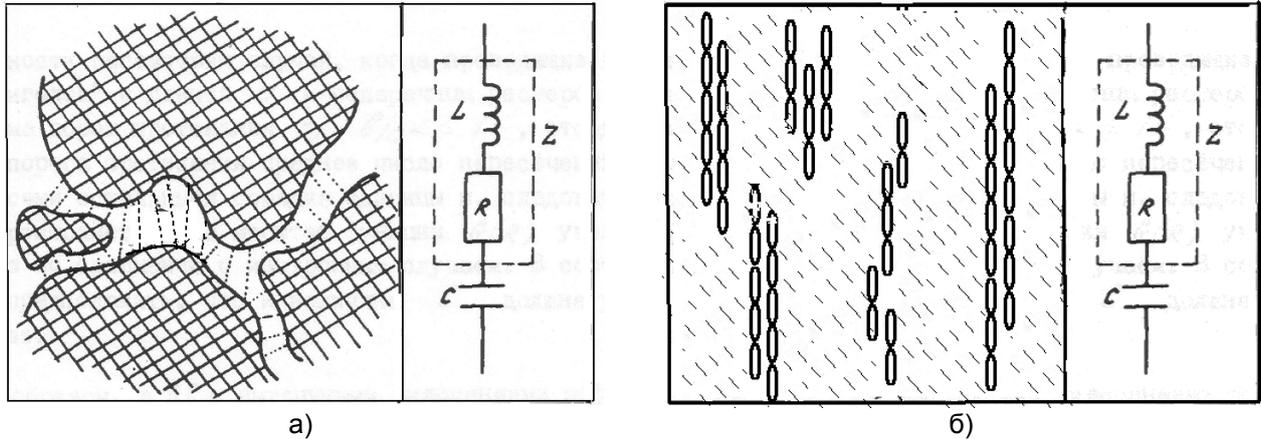


Рисунок – Сферические (а) и игольчатые (б) соединения цепочек техуглерода

При изменении внешних условий происходит корреляция проводящих и непроводящих частиц. Это приводит к образованию новых областей, слипание в комки проводящих частиц печного углерода и изменению порога протекания.

Если углеродная добавка в результате внешних условий приобрела вытянутую (игольчатую) форму, то ее свойства могут различаться в зависимости от соотношения

$$P_c = \frac{r}{L}, \quad (2)$$

где  $P_c$  – значение порога протекания;  
 $r$  – радиус иглы;  
 $L$  – длина иглы.

Согласно расчетам С.А. Зуева и А.Ф. Сидоренко для систем, у которых радиус иглы значительно меньше полученной цепочки порог протекания рассчитывают путем введения корректирующей константы [4]

$$P_c = C \frac{r}{L}, \quad (3)$$

где  $C$  – константа, зависящая от природы добавки и матрицы.

При попадании электропроводящих резины с добавками игольчатого типа у которых  $r \ll L$  во внешнее электрическое поле  $E_0$  будут наблюдаться ярко выраженные анизотропные свойства. Принято условно считать игольчатые цепочки эллипсами с осями  $a$  (большая) и  $b$  (малая). Внешнее поле может быть направлено как вдоль оси  $a$ , так и вдоль  $b$ .

Тогда внутреннее электрическое поле

$$\bar{E}_i = \frac{G}{G + n(G_m - G)} \bar{E}_0, \quad (4)$$

где  $n$  – фактор деполяризации,

$$n = n_a = \frac{1 - e^2}{e^3}; \quad e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}},$$

если внешнее поле направлено вдоль оси  $b$ , то в формуле (4)

$$n = n_b = \frac{1 - n_a}{2}.$$

Наблюдая за величиной внутреннего электрического поля на опытах было сделано заключение, что если  $E_0$  направлено вдоль малой оси цепочки печного техуглерода, то оно не оказывает существенного влияния на общую электропроводность эластомерной матрицы [4].

В случае если направление внутреннего и внешнего электрических полей совпадают, то общая электропроводность возрастает.

В редких случаях ориентацию цепочек печного углерода в электропроводном материале бывает сложно соотнести с внешним электрическим полем, то есть добавки располага-

ются хаотическим образом. На электропроводность такого материала существенное влияние оказывает значение внешнего электрического поля, в котором предполагается использовать проводящий материал [5].

Вывод: при моделировании структуры проводящей резины необходимо учитывать не только концентрацию добавок печного углерода, но также и особенности образования внутренних структур, расположения узлов ее пространственной решетки и конструкции цепочек техуглерода, возникающих под влиянием тех внешних факторов, где предполагается использовать смоделированный проводящий эластомер.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Евстратов, В.Ф. Эластомеры и их роль в научно-техническом прогрессе / В.Ф. Евстратов // ЖВХО им. Д.И. Менделеева. -1986. -Т.31, №1. -С. 3.
- 2 Stober, R. Carbon black and performance silica/silane for tire application competition or symbiosis / R. Stober // GAK: Gummi, Fasern, Kunststoffe. -2003. -Bd.56, №8. -S. 524-530; Каучук и резина. -2005. -№3. -С. 2.
- 3 Усиление эластомеров: пер. с англ. / под ред. Дж. Крауса. -М.: Химия, 1968. -483 с.
- 4 Вулканизация эластомеров: пер. с англ. / под ред. Г. Аллигера, И. Сьетуна. -М.: Химия, 1967. -428 с.
- 5 Электрофизические свойства перколяционных систем / под ред. А.Н. Лагарькова. -М.: Химия, 1990. -118 с.
- 6 Sarychev, A.K. Effective Medium Theory for the Magnetoconductivity Tensor of Disordered Materials / A.K. Sarychev, A.P. Vinogradov // Phys. Stat. Sol. (b). -1988. -V.117. -P. 113-117.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** резина, техуглерод, структура, модель, эластомер  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Аникеев Валерьян Николаевич, инженер ГУП «ИППУ» СО РАН  
Малаенко Олег Анатольевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГавТ»  
644040, г. Омск, ул. Нефтезаводская, 54, ГУП «ИППУ» СО РАН  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавТ»

## **СТРУКТУРА ТАНКЕРНОГО ФЛОТА В РЕГИОНЕ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО ФИЛИАЛА РОССИЙСКОГО РЕЧНОГО РЕГИСТРА И ПРОБЛЕМА ЕГО СООТВЕТСТВИЯ НОВЫМ ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ**

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
ООО Проектное бюро «Флагман»

**П.А. Бимбереков, А.А. Щученко**

### **STRUCTURE TANKER FLEET IN THE WEST-SIBERIAN BRANCH OF RUSSIAN RIVER REGISTER AND THE PROBLEM OF HIS MEET THE NEW REQUIREMENTS SAFETY**

«Novosibirsk state academy of water transport»  
Project office «Flagman»  
P.A. Bimberekov, A.A. Shchuchenko

The structure of the tanker fleet, under surveillance of the West Siberian branch of Russian River Register, reviewed the fleet of trucks, flashpoint cargo and tanker fleet compliance with safety requirements of the Russian River Register, in accordance with the Technical Regulations. It is shown that a large part of the existing fleet to date does not meet the new requirements. Where does the problem of recruitment and/or modernization of the tanker fleet in the region.

*Keywords: structure of the fleet, tanker, constructional safety*

Рассмотрена структура танкерного флота, поднадзорного Западно-Сибирскому филиалу Российского Речного Регистра, проанализирован состав флота по тоннажу, температуре вспышки перевозимого груза, а также соответствие танкерного флота требованиям безопасности РРР в соответствии с Техническим регламентом. Показано, что большая часть наличествующего флота на сегодняшний день не соответствует новым требованиям. Откуда возникает проблема пополнения и/или модернизации танкерного флота региона.

12 августа 2010 года постановлением Правительства Российской Федерации №623 утверждён Технический регламент «О безопасности объектов внутреннего транспорта». Во

исполнение указанного регламента ФГУ «Российский Речной Регистр» (РРР) разослал в свои филиалы письмо «О сроках вывода из эксплуатации однокорпусных танкеров внутреннего и смешанного (река-море) плавания». В письме предписано до 31.12.2014 года прекратить действие классификационных судов, не удовлетворяющих требованиям Технического регламента.

В связи предписанием РРР стало целесообразно проанализировать состояние танкерного флота, оцениться с возможными потерями его тоннажа из числа действующих в настоящее время судов. Для анализа были взяты танкерные суда, приписанные к Западно-Сибирскому филиалу ФГУ РРР.

Структура танкерного флота по способу движения и подразделению по температуре вспышки паров (по Цельсию) приведена на рисунке 1. На рисунке 2 представлена структура несамоходного танкерного флота по разрядам плавания и подразделению по температуре вспышки паров. Из рисунков 1 и 2 хорошо видно подавляющее преобладание в регионе несамоходного танкерного флота (около 92% от общего числа судов), а в нем преимущество судов, перевозящих жидкие грузы с температурой вспышки до 60 °С над перевозящими жидкие грузы с температурой вспышки выше 60 °С. Причем соотношение последних в разряде плавания P1,2 составляет примерно 3,6:1, а в разряде плавания O2,0 примерно 5:1. Самоходный флот (9 судов) полностью приспособлен для перевозки жидких грузов с температурой вспышки до 60 °С.

Зависимость числа единиц несамоходного танкерного флота от тоннажа судов представлена на рисунке 3. Здесь видно, что преобладают в общем количестве суда грузоподъемностью 200 т (53 судна – примерно 48% от всего числа несамоходных судов) и 100 т (32 судна – примерно 29% от всего числа несамоходных судов), представители судов другой грузоподъемности насчитывают максимум до пяти единиц флота. Из рисунка 3б видно, что зависимость числа единиц танкерного несамоходного флота в зависимости от грузоподъемности судов, за исключением судов грузоподъемностью 100 и 200 т, имеет практически линейную функцию, близкую к параллельной оси грузоподъемности. Такая зависимость может говорить или о достаточно четкой наработке практики по оптимальным значениям грузоподъемности судов танкерного флота, или, наоборот, о исторически сложившемся наборе типоразмеров судов, возможно не отвечающим существующей потребности в грузопотоке.

На рисунке 4а представлена гистограмма распределения числа судов танкерного несамоходного флота по отдельным проектам (некоторые модификации проектов сведены одним пунктом). На рисунке 4б – представлена гистограмма распределения тоннажа судов танкерного несамоходного флота по отдельным проектам. Из сопоставления рисунков 4а и 4б можно заключить, что распределение величины тоннажа по проектам прямо не следует из числа судов данного проекта. Так четыре баржи проекта 459Н превосходят совокупный тоннаж наиболее массового проекта Т-77 в 2,73 раза, а две баржи проекта М16802 – соответственно в 1,6 раза.

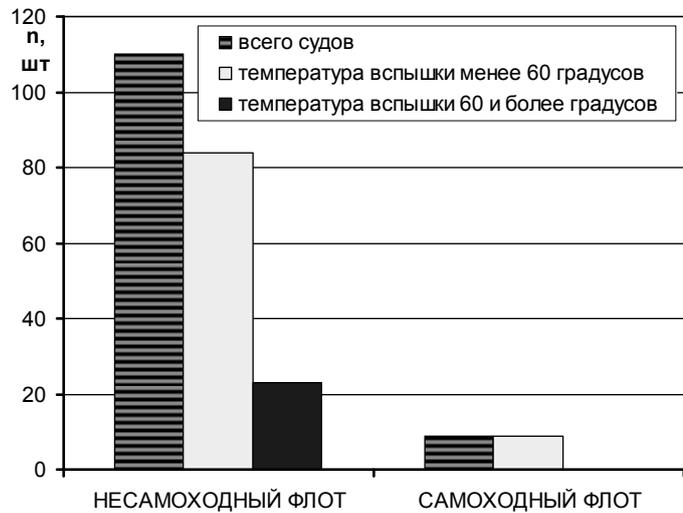


Рисунок 1 – Структура танкерного флота

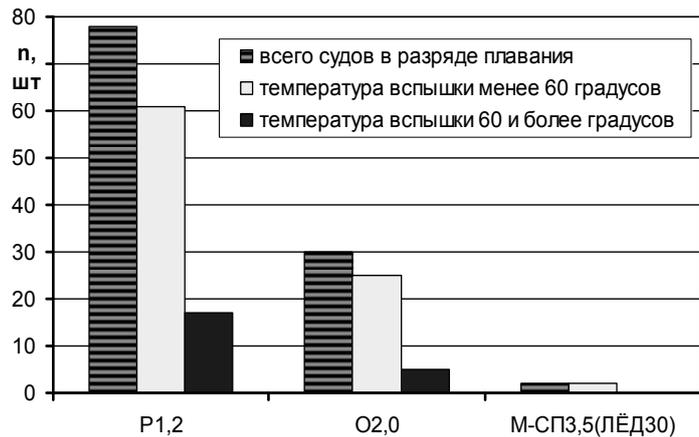


Рисунок 2 – Структура несамоходного танкерного флота по разрядам плавания и подразделению по температуре вспышки паров

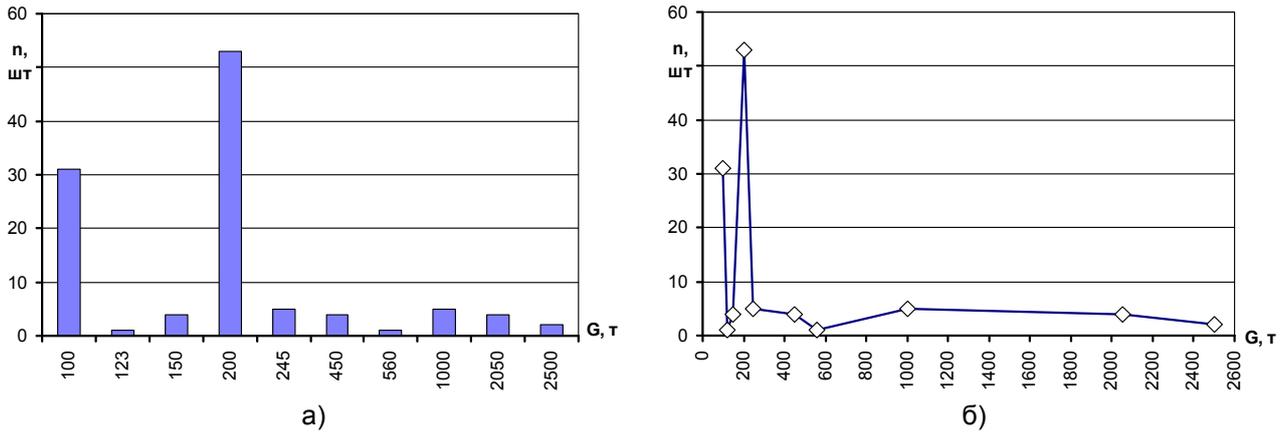


Рисунок 3 – Зависимость числа единиц несамоходного танкерного флота от тоннажа судов

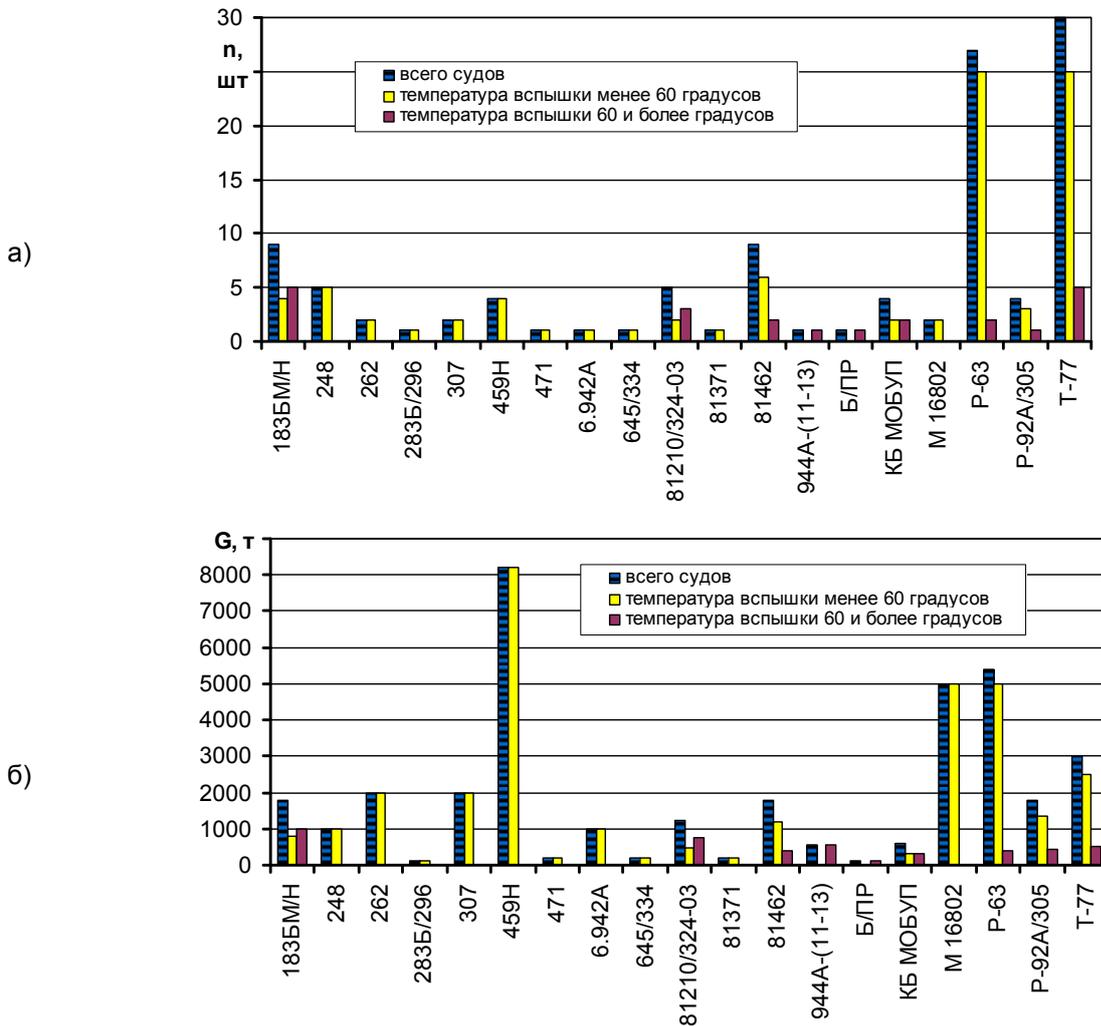


Рисунок 4 – Распределение числа судов и совокупного тоннажа по отдельным проектам

Следует отметить, что все самоходные суда удовлетворяют требованиям Технического регламента, поэтому ниже рассмотрим на рисунке 5 только соотношение существующего несамоходного танкерного флота на соответствие и несоответствие его требованиям. Из рисунка 5 видно, что большая часть существующего танкерного флота не удовлетворяет требованиям Технического регламента и должна быть модернизирована или заменена.

Следует отметить ещё один момент, предусмотренный Техническим регламентом, который может стать препятствием в допущении танкерных судов к эксплуатации в смешанных разрядах плавания и при наличии двойных бортов и двойного дна или вкладных грузовых танков, а именно: в случае необходимости обеспечения судов в балластных рейсах требуемого уровня мореходности запрещается прием балласта в грузовые танки.

Выводы:

1 Больше число судов танкерного флота (примерно 60% судов несамоходного флота) не отвечают требованиям введенного Технического регламента, что ставит задачу разработки подходов по модернизации существующих судов и/или технологий перевозки жидких грузов.

2 Очевидным выходом из создавшейся ситуации станет строительство новых судов, отвечающих современным требованиям.

3 В связи с возможностью существенного обновления танкерного флота необходимо произвести научную оценку в потребности судов танкерного флота в регионе и, возможно, составление новой сетки судов танкерного флота.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

структура флота, танкер, конструктивная безопасность

Бимбереков Павел Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Щученко Алексей Анатольевич, директор ООО Проектное бюро «Флагман»

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

630007, г. Новосибирск, пер. Пристанский, 5, ООО Проектное бюро «Флагман»

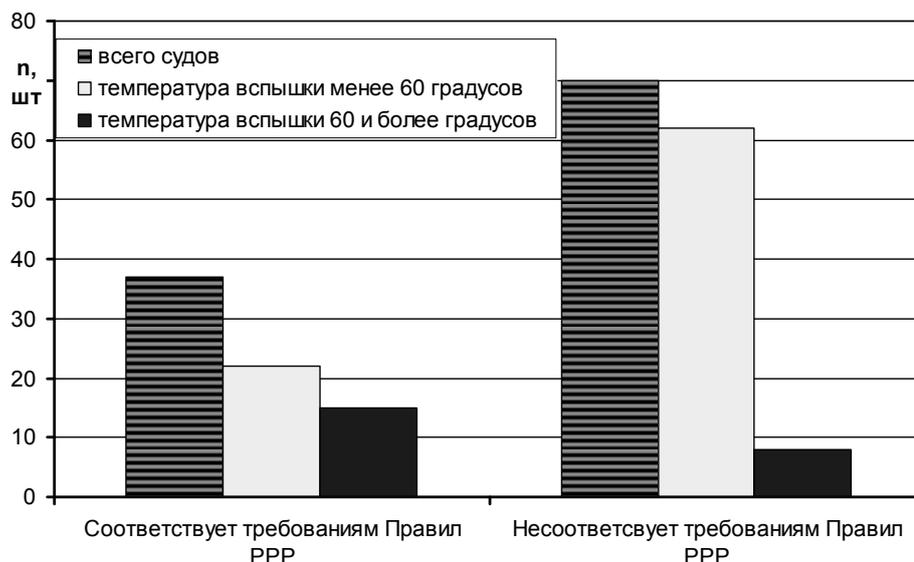


Рисунок 5 – Структура подразделения несамоходного танкерного флота на соответствие требованиям Технического регламента

## **КООРДИНАЦИЯ РАЗРЯДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОНЫ РЕМОНТНЫХ РАБОТ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ С АТМОСФЕРНЫМИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯМИ**

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Новосибирская специализированная производственная база, филиал ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС»

**Е.Н. Фролкин, А.Г. Овсянников**

### **THE COORDINATION OF FLASHOVER CHARACTERISTICS OF LIVE WORKING ZONE WITH ACCOUNT OF LIGHTNING SURGES**

«Novosibirsk state academy of water transport»

Novosibirsk specialized production base, branch «Electroservice ENES»

E.N. Frolokin, A.G. Ovsyannikov

It is shown that far (more than 10 km) lightning surges does not limit minimum approach distance in live working zone.

*Keywords: voltage repair work under stress, atmospheric overvoltage, the electric strength*

Показано, что атмосферные перенапряжения, связанные с дальними (более 10 км) ударами молнии в линию, не лимитируют длину воздушных промежутков в зоне работ под напряжением.

Производство ремонтных работ под напряжением (ПРН) прочно вошло в практику обслуживания воздушных линий электропередачи (ВЛ). Главным условием ПРН является обеспечение безопасности ремонтного персонала. Прежде всего, необходимо исключить перекрытие изоляционных промежутков в зоне ПРН не только под рабочим напряжением ВЛ, но и при случайных перенапряжениях.

Напомним, что на ВЛ классов напряжения 220-750 кВ ремонтные работы проводятся по схеме «человек-изоляция-земля», то есть верховой электромонтер, одетый в экранирующий комплект, работает под потенциалом провода. По распространенной в России) технологии ПРН электромонтера доставляют к проводу методом «Маятника» со стойки опоры к проводу с помощью полимерного изолятора и изолирующих канатов. В процессе работы электрическую изоляцию верхового электромонтера от стойки и траверсы опоры обеспечивают воздушные промежутки и изолирующая подвеска провода. К исправности изоляторов подвески предъявляются достаточно строгие требования, а влияние подвесок в расчетах допустимых расстояний по воздуху учитывается соответствующими корректирующими коэффициентами запаса. Поэтому определяющим для безопасности остается прочность воздушных промежутков. Минимальные длины воздушных промежутков имеют место при выполнении работ на изолирующих подвесках проводов, например, при замене гирлянд фарфоровых изоляторов на стеклянные или полимерные изоляторы.

Вопросу обеспечения безопасности ПРН при воздействии коммутационных перенапряжений посвящено немало работ [1]. ГОСТ 28259-89 [2] устанавливает требования к минимальным длинам воздушных промежутков в зоне ПРН. Эти требования диктуются условиями обеспечения безопасности ПРН при воздействии коммутационных перенапряжений. Стандарт МЭК 61472 [3] определяет методику расчета минимальных расстояний приближения и, по сути, решает ту же задачу.

В данной статье рассматривается вопрос о влиянии атмосферных перенапряжений на вероятность пробоя воздушных промежутков в зоне ПРН. Вообще говоря, в грозовой обстановке ПРН запрещены [2]. При приближении грозы работы должны быть прекращены, и бригада должна удалиться от места работ на безопасное расстояние.

Но известно, что дальность визуального и/или слухового обнаружения приближающегося грозового фронта составляет около 10 км. Поэтому вероятность воздействия на зону ПРН грозовых перенапряжений от удаленных гроз исключить полностью нельзя.

Разумеется, влияние грозовых перенапряжений на степень риска ПРН должно учитывать вероятностный характер явления. Необходимо принимать во внимание, что время ПРН редко совпадает с грозовой обстановкой на прилегающих участках ремонтируемой ВЛ, прямые удары молнии в ВЛ, а, тем более удары молнии в провод, имеют свою и, как правило, невысокую вероятность и т.д. Но в консервативном подходе, который оправдан задачей обеспечения безопасности людей, можно считать вероятность появления волн грозовых перенапряжений равной единице и ориентироваться только на амплитудные значения волн

атмосферного происхождения, которые могут достигать зону ПРН. Целесообразно также ограничиться рассмотрением только тех перенапряжений, которые возникают вследствие прямых ударов молнии в тросы, опоры и провода ВЛ. По сравнению с индуктированными перенапряжениями их амплитуда существенно больше и, соответственно, только они могут представлять опасность.

Несложно доказать, что из рассмотрения можно исключить и срезанные волны. Известно, что затягивание фронта при распространении срезанного импульса от удаленного места удара молнии в ВЛ значительно снижает его амплитуду при достижении зоны ПРН. Результаты расчетов, выполненные авторами [4] и хорошо совпадающие с экспериментальными данными [5], показывают, что амплитуда срезанной волны после прохождения отрезка ВЛ длиной 10 км снижается более, чем в два раза, по сравнению с исходной, и поэтому опасности для зоны ПРН представлять не может.

Итак, будем учитывать только перенапряжения, имеющие форму полной волны и с амплитудой, равной выдерживаемому напряжению изоляции ВЛ. Возникновение в зоне ПРН волн с большей амплитудой практически невероятно, поскольку перекрытие какой либо из изолирующих подвесок провода произойдет вдали от зоны ПРН, уже в первом десятке (от места удара молнии) пролетов ремонтируемой ВЛ.

Спад амплитуды полной грозовой волны с параметрами 1,2/50 мкс (в реальности могут иметь место и большие значения длительности фронта и спада) значительно меньше, чем для срезанной волны. Это объясняется тем обстоятельством, что собственно затухание волны вследствие потерь энергии на корону и в сопротивлении земли невелико. Основную роль в снижении амплитуды волны играет затягивание фронта, что не играет особой роли при больших исходных длительностях фронта и импульса в целом. Для стандартной грозовой волны в [6] приводится формула Фауста и Менжера для оценки амплитуды  $U_L$  волны, пробежавшей расстояние  $L$  вдоль линии

$$U_L = \frac{U_0}{k \cdot \ell \cdot U_0 + 1},$$

где  $U_0$  – первоначальная амплитуда, кВ;

$\ell$  – длина пробега волны, миль;

$k$  – эмпирически определенный коэффициент пропорциональности  $k = 0,00016$ .

Указанное значение коэффициента пропорциональности было получено для отрицательной полярности волны. Для положительной полярности его значение было почти вдвое больше, что отражает влияние потерь на корону, которая имеет большую интенсивность при положительной полярности волны.

Ниже приведены результаты расчетов по (1) с  $k = 10^{-4}$  (пятая строка таблицы) амплитуды волны после пробега ею 10 км ВЛ. Коэффициент пропорциональности в данном случае был пересчитан с мили на километр.

*Таблица – Результаты расчета*

№	Вид параметра	Значения параметров				Источник информации
1	Класс напряжения ВЛ, кВ	220	330	500	750	–
2	$U_{50}$ , кВ (полная волна)	1008	1430	1700	2400	эксперимент
3	$U_0 = U_{50} - 3\sigma$ , кВ	958	1358	1615	2280	эксперимент
4	$U^{полн}$ ( $\ell = 10$ км), кВ	703	1048	1292	1870	расчет по МАЭС
5	$U^{полн}$ ( $\ell = 10$ км), кВ	489	576	747	695	расчет по (1)
6	$\ell_{min}^{гроз}$ , м (полная волна)	1,45	2,16	2,66	3,85	расчет по (2) с данными четвертой строки
7	$\ell_{min}^{коммут}$ , м	1,9	2,3	3,3	5,2	[2]

Параллельно было выполнено моделирование процесса распространения волны в программе для расчета электромагнитных переходных процессов VMAES (МАЭС) разработанной в Сибирском научно-исследовательском институте энергетики. Моделировались ВЛ классов напряжения 220-750 кВ с горизонтальным расположением проводов. Удельное сопротивление грунта принималось равным  $\rho = 100$  Ом·м. Потери в грозозащитных тросах не учитывались. Первоначальная амплитуда  $U_0$  принималась равной выдерживаемому напряжению изолирующих подвесок при воздействии стандартной грозовой волны. Разрядные ха-

рактеристики (пятидесятипроцентное напряжение перекрытия,  $U_{50}$ , и среднеквадратичное отклонение  $\sigma$ ) были получены в СибНИИЭ при испытаниях типовых изолирующих подвесок проводов. Испытывались полномасштабные макеты изолирующих подвесок проводов верхней фазы ВЛ 220 и 330 кВ на опорах П220-3 и П330-3 и крайних фаз ВЛ 500 и 750 кВ на опорах ПБ-1 и ПП750-3, соответственно.

На рисунке 1 приведен один из результатов расчета для ВЛ 220 кВ. Значения расчетных амплитуд волны после пробега ею 10 км ВЛ приведены в четвертой строке таблицы.

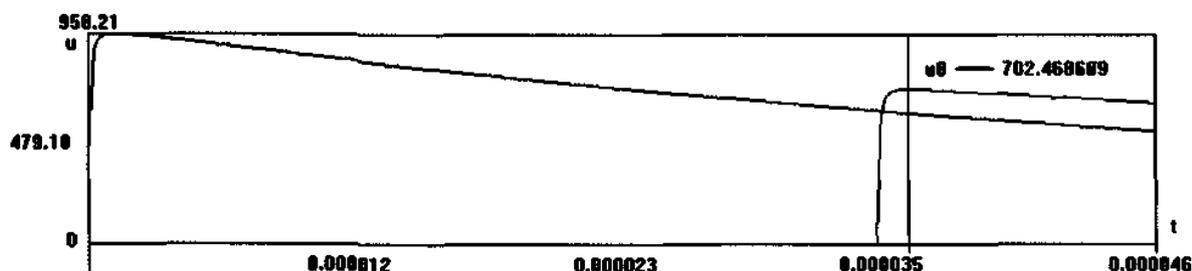


Рисунок 1 – Результат расчета деформации и затухания волны при ее распространении по ВЛ 220 кВ ( $l = 10$  км)

Обращает внимание очень большая разница в расчетном и экспериментально определенном затухании. Некоторое объяснение кроется, по-видимому, разницей в удельном сопротивлении грунтов и потерями в грозозащитном тросе. На трассах ВЛ, на которых проводились измерения (Алабама, Огайо и др.), сопротивление грунта было явно больше принятого в расчетах. Кроме того, на линиях были смонтированы грозозащитные тросы, заземленные на каждой опоре, соответственно, потери в них могли быть значительными.

Расчет минимальных изоляционных расстояний в зоне ПРН с учетом набегающих грозовых волн перенапряжений производился, исходя из минимального разрядного градиента, равного 500 кВ/м и поправки на  $3\sigma$  (значение  $\sigma$  принималось равным 1%)

$$l_{\min}^{\text{гроз}} = 1,03 \frac{U_L}{500}.$$

Как видно из приведенных в двух последних строках таблицы данных требуемые в [2] минимальные изоляционные расстояния в зоне ПРН заметно превышают максимальные расчетные промежутки для атмосферных перенапряжений. Из этого можно сделать вывод о том, что влиянием грозовых перенапряжений на безопасность ПРН, источник которых удален на 10 км и более, можно пренебречь.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Батраков, А.М. Производство ремонтных работ под напряжением на воздушных линиях электропередачи сверхвысокого напряжения / А.М. Батраков, Н.М. Коробков, А.Г. Овсянников. -Новосибирск: Наука, 2009. -320 с.
- 2 ГОСТ 28259-89. Производство ремонтных работ под напряжением в электроустановках. Основные требования. -М.: Изд-во стандартов, 1989. -11 с.
- 3 IEC Method of Calculation of Minimum Approach Distances for Live Working // IEEE Transactions on Power Delivery, V.15, №2. -April 2000.
- 4 Костенко, М.В. Перенапряжения и защита от них в воздушных и кабельных электропередачах высокого напряжения / М.В. Костенко [и др.]. -Л.: Наука, 1988. -302 с.
- 5 Потужный, А.К. Затухание волн очень высокого напряжения в 110 кВ линии электропередачи / А.К. Потужный, С.М. Фертик // Электричество, -1946, -№6. -С. 52-57.
- 6 Levis, W.W. Surge Voltage Investigation on Transmission Lines // Transactions A.I.E.E., vol.XLVII, October, 1928. -p. 1111-1121.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** напряжение, ремонтные работы под напряжением, атмосферные перенапряжения, электрическая прочность

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Фролкин Евгений Николаевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГавТ»  
Овсянников Александр Георгиевич, докт. техн. наук, профессор, главный инженер НСПБ, филиал ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавТ»  
630126, г. Новосибирск, Микрорайон «Зеленый бор», 7, НСПБ, филиал ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС»

## **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОГО И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОГО БЕТОНОВ**

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Новосибирская специализированная производственная база,  
филиал ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС»  
ОАО «Газпром»

**В.П. Горелов, В.В. Горелов, П.А. Дзюба,  
Н.А. Духновский, Е.Н. Фролкин, Д.А. Шкитов**

**INFLUENCE OF CONDITIONS OF OPERATION ON THE BASIC CHARACTERISTICS OF ELECTRONETWORK DESIGNS FROM ELECTROINSULATION AND ELECTROWIRE CONCRETE**

«Novosibirsk state academy of water transport»

Novosibirsk specialized production base, branch «Electroservice ENES»

«Gasprom»

V.P. Gorelov, V.V. Gorelov, P.A. Dzyuba, N.A. Duhnovsky, E.N. Frolkin, D.A. Shkitov

Monitoring of a condition of basic ferro-concrete and metal designs of transmission lines in aggressive conditions is expedient for carrying out with use IR imager.

*Keywords: insulating concrete, reinforced concrete structures, a resistive composite material, condition monitoring*

Мониторинг состояния опорных железобетонных и металлических конструкций линий электропередачи в агрессивных условиях целесообразно проводить с использованием тепловизоров.

Воздушные линии электропередачи (ЛЭП) являются основными элементами электроэнергетических систем и содержат опоры, траверсы, линейные изоляторы, фазные провода, грозозащитные тросы, высоковольтные разрядники и устройства заземления. Повреждение одного из этих элементов, взаимосвязанных между собой, приводит к серьёзным нарушениям работы ЛЭП. Основную роль в работе воздушных ЛЭП отводят опорам и траверсам из электроизоляционных и электропроводных материалов. От состояния опор зависит работа ЛЭП по обеспечению бесперебойного электроснабжения потребителей.

Опоры ЛЭП бывают трёх видов: деревянные, железобетонные и металлические. Каждый вид опор ЛЭП имеют свои конструктивные особенности и области применения. Самый распространённый тип опор, который применяют в строительстве линий электропередачи, это железобетонные опоры. Опоры этого вида имеют лучшие прочностные характеристики, по сравнению с деревянными. Затраты труда на сборку железобетонных опор значительно ниже, чем на сборку деревянных или металлических, но самыми прочными считаются металлические опоры.

В ряде областей энергетического строительства необходимо применение конструкций из материалов, обладающих наряду с высокими физико-механическими параметрами и стабильными электрофизическими параметрами. При этом конструкции должны одновременно выполнять конструктивные и электротехнические функции. Наиболее распространённые изделия из металлов, стекла и фарфора по ряду соображений технического и экономического характера всё менее удовлетворяют требованиям эксплуатации. Исследования показали целесообразность использования для электротехнических изделий недорогого композиционного материала на основе силикатных связей – бетона.

Начиная с 1963 г. в Сибирском НИИ энергетики, Новосибирской государственной академии водного транспорта, Новосибирской специализированной производственной базе «Электросетьсервис» проводятся целенаправленные исследования по разработке технологии изготовления электротехнических изделий из электроизоляционного и электропроводного бетона. Результатом этих исследований явилось создание новых материалов – электроизоляционного бетона и бетона электропроводного бетэла [1-4].

Разработана технология получения нового высоковольтного технического диэлектрика на основе цементных вяжущих, проведены всесторонние научные исследования по изучению механических и электрофизических свойств, разработаны технологические правила изготовления изолирующих конструкций для линейного и подстанционного строительства из электроизоляционного бетона, изготовлены и испытаны различные виды изолирующих кон-

струкций (изолирующие траверсы для ВЛ 0,4-35 кВ), опоры для воздушных линий электропередач напряжением до 500 кВ, проходные изолирующие конструкции для подстанций напряжением 0,4-10 кВ, опорные конструкции для подстанций напряжением 110-500 кВ. Многочисленные опытные партии вышеперечисленных конструкций из электроизоляционного бетона успешно эксплуатируются в различных энергосистемах России и других стран СНГ (Белоруссии, Туркмении, Грузии). В ОАО «Новосибирскэнерго» установлены и успешно работают тысячи изолирующих траверсов из электроизоляционного бетона [1-2].

Для технического диэлектрика наиболее важными электрическими характеристиками являются: электропроводность (электрическое сопротивление), диэлектрическая проницаемость, пробивное напряжение при переменном и импульсных токах. Электропроводность цементного камня зависит, главным образом от наличия влаги в его порах. Для цементного камня, находящегося в воздушно-сухом состоянии, удельное объёмное электрическое сопротивление  $\rho_v$  изменяется от  $10^4$  до  $10^{10}$  Ом·м. Минимальные значения соответствуют водонасыщенному состоянию цементного камня. Влага в порах цементного камня является электролитом, так как содержит в себе ионы растворимых продуктов гидратации и твердения цемента и ионы внешней среды [2-3].

Смешивание исходных компонентов смеси производится в растворо- и бетономешалках принудительного действия, а формирование изделий осуществляется с применением методов вибрирования, вибрирования с пригрузом, прессования, вакуумирования и т.п. Гидротермальная обработка отформованных изделий подбирается, исходя из условий получения высокопрочной и плотной структуры затвердевшего бетона [1].

Стабилизация приобретённых в процессе сушки диэлектрических свойств бетона осуществляется путём пропитки его гидрофобными массами или компаундами. Наиболее разработанным, простым по технологии применения и экономичным является метод пропитки бетона в расплаве петролатума и церезина в ваннах при атмосферном давлении. Поскольку процесс пропитки пористого тела происходит, в основном, за счёт самовакуумирования при охлаждении пропитываемого вещества, наиболее приемлемым является циклический способ, то есть последовательное чередование нагрева и охлаждения бетона в расплаве петролатума.

Общая продолжительность режима пропитки петролатумом зависит от требуемой глубины пропитки, на которую, в свою очередь, очень сильно влияет характер распределения структурной пористости бетона. Чем больше основной радиус приведённых пор бетона, тем последний быстрее пропитывается петролатумом. Бетон на крупном щебне пропитывается значительно быстрее, чем мелкозернистый бетон. В зависимости от назначения конструкции, изготовленной из электроизоляционного бетона, требуется различная глубина пропитки петролатумом, что обычно достигается воздействием соответствующего количества циклов. Скорость пропитки бетона петролатумом значительно увеличивается при применении повышенного давления в автоклавных установках [2-4].

За рубежом и в нашей стране проводятся исследования, направленные на улучшение электрофизических параметров бетона, применяемых в строительстве. Стабилизация электрической проводимости бетонов достигается подбором состава и тепловлажностной обработки материала. Объёмная пропитка петролатумом, церезином и другими электроизоляционными составами обеспечивает влагозащиту электротехнических конструкций. Основные параметры электроизоляционного бетона даны ниже [5]:

- Удельное электрическое сопротивление
- объёмное, Ом·м .....  $10^{13}$ - $10^{15}$ ;
- поверхностное, Ом .....  $10^{13}$ - $10^{15}$ ;
- Пробивная напряжённость электрического поля
- при частоте 50 Гц, кВ/м .....  $(6-12) \cdot 10^3$ ;
- импульсная (10 мкс) .....  $(2-6) \cdot 10^3$ ;
- Поверхностная электрическая прочность
- на расстоянии 0,1 м, кВ/м ..... 400-500;
- на расстоянии 1 м, кВ/м ..... 250-300;
- Тангенс угла диэлектрических потерь
- (при частоте 50 Гц и напряженности 500 кВ/м) ..... 0,05-0,15;
- Плотность, кг/м<sup>3</sup> ..... 2000-2400;
- Разрушающее напряжение

при сжатии, МПа .....	4-11,0;
при растяжении, МПа .....	4-10,5.

Разработанный новый материал с широким диапазоном изменения электрической проводимости – электропроводный бетон получил название БЭТЭЛ [4-5]. Параметры БЭТЭЛА из пластичных смесей следующие:

– Удельное объёмное сопротивление, Ом·м .....	$10^3$ - $10^6$ ;
– Допустимая напряжённость электрического поля (при частоте 50 Гц), В/м .....	$(2,5-6,0) \cdot 10^4$ ;
– Коэффициент нелинейности.....	0,60-0,85;
– Разрушающее напряжение при сжатии, МПа.....	5-20;
– Плотность, кг/м <sup>3</sup> .....	1700-2000;
– Предельно допустимая удельная энергия рассеяния (при частоте 50 Гц), МДж/м <sup>3</sup> .....	40-120;
– Температурный коэффициент сопротивления, °С -1 .....	$(10-35) \cdot 104$ ;
– Рабочий диапазон температур, °С .....	-40...+130;
– Допустимая температура нагрева, °С.....	+140.

Электрофизические и физико-механические параметры резистивных композиционных материалов (РКМ) зависят от типа связки, гранулометрии и типа электроизоляционных и электропроводных наполнителей, способа обработки поверхности изделий.

Контролировать качество изделий из РКМ стало возможным в результате применения новых прогрессивных методов исследования структуры материалов, Так, в настоящее время происходит интенсивное внедрение компьютерной томографии в дефектоскопию и микроскопию рентгеновского излучения,  $\gamma$ -излучения, излучения быстрых нейтронов длинноволнового электромагнитного спектра [4].

При крупносерийном производстве изделий из РКМ целесообразно применять сканирующий тепловизор, работающий в инфракрасной области спектра. С помощью отечественных тепловизоров получена эффективная информация о процессах, протекающих в изделиях из РКМ в режимах кратковременного или длительного их включения под напряжение. Можно проводить как диагностику конструкций из РКМ, так и производить разбраковку элементов, имеющих неоднородности распределения ингредиентов в композиции [3-5].

Так как воздушные линии сооружаются в открытой местности, то они подвергаются различным атмосферным воздействиям, которые в зависимости от географического положения проявляются с различной частотой и оказывают основное влияние на работу ЛЭП. Поэтому для обеспечения надёжной работы ЛЭП необходимо обеспечить её защиту различными устройствами в зависимости от вида климатических воздействий. На работу линий влияют сочетания низких температур с наибольшими скоростями ветра, а так же температура, сопутствующая процессу гололёдноизморозевых образований не только на проводах, но и внутри самой опоры. Наиболее это очевидно в таких опорах, как опоры с цилиндрическим и коническими центрифугированными стойками. Опоры такой конструкции похожи на полый усечённый конус, причем нижняя и верхняя части остаются открытые. После монтажа такой опоры нижняя часть, как правило, помещается в грунт примерно на четыре метра, а верхняя остаётся открытой. В связи с тем, что верх опоры остаётся открытым, вовнутрь попадают атмосферные осадки летом в виде дождя, а зимой – в виде снега. Это опасно тем, что при попадании осадков внутрь опоры в течение нескольких лет они накапливаются в виде дождя, так и снега. Когда вода в опоре достигает определённого уровня, то зимой с наступлением сильных морозов это может угрожать целостности опоры. При замерзании вода расширяется и это может приводить к частичному разрыву, то есть на опоре образуются трещины и сколы. Это влечёт за собой очень серьёзные последствия. При проникновении влаги и кислорода из воздуха в тех местах, где образуются такие дефекты в бетоне, наблюдается наиболее интенсивная коррозия арматуры, так как арматура остаётся совершенно не защищённой.

Для мониторинга времени заполнения части опоры водой, были произведены расчёты. Для расчёта использовались следующие данные: площадь дна метеорологического ведра; среднегодовое количество осадков (Сибирь и большая часть Дальнего Востока); габаритные размеры центрифугированных опор (СК-22, СК-26). В таблицах 1 и 2 предоставлен данный расчёт: 1-полного заполнения водой; 2-частичного заполнения опоры водой, то есть заполнение опоры до высоты 4 м от основания стойки.

*Таблица 1 – Данные расчётов полного заполнения центрифугированных опор водой*

Вид опоры	Диаметр нижней части опоры, м	Диаметр верхней части опоры, м	Длина, м	Полный объём, м <sup>3</sup>	Время заполнения, лет
СК-22	0,50	0,300	22,66	2,90	59,1
СК-1-1	0,43	0,224	22,60	1,96	39,9

*Таблица 2 – Данные расчётов частичного заполнения центрифугированных опор водой*

Вид опоры	Диаметр нижней части опоры, м	Диаметр верхней части опоры, м	Длина, м	Полный объём, м <sup>3</sup>	Время заполнения, лет
СК-22	0,50	0,34	4	0,55	11,3
СК-1-1	0,43	0,26	4	0,38	7,8

В обоих случаях при расчётах мы пренебрегли: фильтрацией воды в грунт, наличие трещин на поверхности стоек и испарением воды. Таким образом, мы получаем, что время заполнения стоек СК-22 и СК-1-1 примерно равно 40-60 лет (см. таблица 1), однако нас интересует не полное заполнение стоек, а только выше уровня грунта то есть заполнение стойки водой порядка 4 м от основания стойки. По расчётам, приведённым в таблице 2, уже становится опасно эксплуатировать опоры. Так как через 8-11 лет стойка начнёт разрушаться у самого основания.

Поэтому появляется задача определения в обследуемой опоре наличия воды. Для этого нужно знать теплоёмкость бетона и воды (таблица 3).

*Таблица 3 – Теплоёмкость ряда ингредиентов опор линий электропередачи*

Наименование ингредиентов	Агрегатное состояние	Удельная массовая теплоёмкость, кДж/(кг·К)
Железо	твёрдое тело	0,444
Вода	газообразное (при температуре 373 К)	2,020
Вода	твёрдое тело (при температуре 273°К)	2,060
Вода	жидкость (при температуре 273-373 К)	4,183
Бетон	твёрдое тело	0,880
Древесина	твёрдое тело	1,700
Почва	твёрдое тело	0,800

Проанализировав данную таблицу можно сказать, что при установленной температуре окружающей среды (20 °С) удельная теплоёмкость этих веществ является разной, а следовательно, при постоянной температуре окружающей среды температура самих веществ будет отличаться. Для того чтобы определить эту разницу целесообразно использовать тепловизоры.

Можно сделать вывод, что для определения нахождения воды внутри стойки возможно применение тепловизора. Действие всех тепловизионных систем основано на фиксировании температурной разницы объект/фон и на преобразовании полученной информации в изображение, видимое глазом. Современные тепловизионные приборы способны обнаруживать температурный контраст равный (0,05-0,10) К.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бернацкий, А.Ф. Электрические свойства бетона / А.Ф. Бернацкий, Ю.В. Целебровский, В.А. Чунчин. -М.: Энергия, 1980. -208 с.
- 2 Бернацкий, А.Ф. Технология и свойства электроизоляционного бетона / А.Ф. Бернацкий, С.В. Горелов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2002. -№1. -С. 92-101.
- 3 Резисторы в схемах электротеплоснабжения / С.В. Горелов [и др.]; под ред. В.П. Горелова, Н.В. Цугленка. -2-е изд. перераб. и доп. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2008. -424 с.
- 4 Горелов, В.П. Композиционные резисторы для энергетического строительства / В.П. Горелов, Г.А. Пугачёв. -Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1989. -216 с.
- 5 Горелов, В.П. Низкотемпературные нагреватели из композиционных материалов в промышленности и быту / В.П. Горелов. -М.: Энергоатомиздат, 1995. -208 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** бетон электроизоляционный, железобетонные конструкции, резистивный композиционный материал, мониторинг состояния

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Горелов Валерий Павлович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГавТ»  
Горелов Василий Валерьевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГавТ»  
Дзюба Павел Анатольевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГавТ»  
Духновский Николай Анатольевич, инженер НСПБ, филиал ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС»  
Фролкин Евгений Николаевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГавТ»  
Шкитов Денис Александрович, главный технолог управления энергетики ОАО «Газпром»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавТ»  
630126, г. Новосибирск, Микрорайон «Зеленый бор», 7, НСПБ, филиал  
ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС»  
117997, Москва, ГСП-7, ул. Нагатинская, 16, ОАО «Газпром»

## НОВЫЙ ПАССАЖИРСКИЙ ЭЛЕКТРОВАЗ СЕРИИ «O'Z-Y»

ФГОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»

**А.В. Плакс, Д.О. Раджибаев, Х.М. Турсунов**

**THE NEW PASSENGER LOCOMOTIVE SERIES «O'Z-Y»**  
«Petersburg state transport university»  
A.V. Plaks, D.O. Radjibayev, Kh.M. Tursunov

This article describes the design of mechanical parts, electric equipment location, as well as an electric circuit diagram and four-quadrant converter with a description of the principle of the schemes.

*Keywords: passenger locomotive series «O'Z-Y»; basic characteristics; electric parts; four-quadrant converter*

Рассмотрены конструкции механической части, расположения оборудования электроваза, а также принципиальная электрическая схема электроваза и четырехквadrантного преобразователя с описанием принципа работы схем.

Вот уже 8 лет как был сделан первый шаг к улучшению парка локомотивов Узбекистана. В 2002 году китайская «Чжучжоуская электровазостроительная компания» (ЧЭК) поставила в Узбекистан 12 электровазов серии «O'ZBEKISTON» («УЗБЕКИСТАН»). За весь период эксплуатации эти электровазы показали себя хорошо. При общей протяженности электрифицированных дорог в 620 км эти электровазы осуществляют свыше 44% пассажирских перевозок. Годовой пассажирооборот этих локомотивов составляет около 189 млн. пассажирокилометров. А грузооборот, выполняемый ими, составляет почти треть от всего грузооборота на железных дорогах Узбекистана.

Но, так как, потребность в новых единицах локомотивного парка растет, а в эксплуатации имеются электровазы, которые выработали уже свой ресурс, в 2009 году был заключен новый договор с ЧЭК на поставку 15 новых пассажирских электровазов серии «O'Z-Y». В данное время заканчивается финальный этап испытаний новых локомотивов. Все этапы были проведены с успехом, и эти новые электровазы могут выйти в эксплуатацию раньше намеченного срока. Данные электровазы должны заменить пассажирский электроваз ВЛ-60к, который выработал свой ресурс.

**Характеристика электроваза.** Новые пассажирские электровазы серии «O'Z-Y» в основном будут эксплуатироваться для тяги пассажирских поездов на магистрали Государственно-акционерной железнодорожной компании (ГАЖК) «Узбекские железные дороги» («O'zbekiston temir yo'llari» DATYK).

Род тока  
– однофазный переменный ток ..... 50 Гц;  
Рабочее напряжение:  
– номинальное ..... 25 кВ;  
– максимальное ..... 31 кВ;  
– минимальное ..... 17,5 кВ.  
Локомотив может работать с полной  
мощностью при напряжении ..... 22,5-30,0 кВ.  
– колея ..... 1520 мм;  
– осевая формула ..... C<sub>0</sub>-C<sub>0</sub>;

- экипировочная масса локомотива..... 126 т;
- нагрузка на ось.....21 тс;
- диаметр колеса ..... 1250 мм.

**Тяговая характеристика.** На локомотиве применен привод переменного тока, обеспечивающий стабилизацию мощности и скорости. Кривая тяговой характеристики локомотива показана на рисунке 1.

Параметры тяговой характеристики:

- способ электрического привода ..... переменно-постоянно-переменный ток;
- мощность продолжительного режима.....6000 кВт;
- предел скорости при постоянной мощности ..... 75 км/ч;
- максимальная эксплуатационная скорость ..... 160 км/ч;
- пусковая сила тяги..... 420 кН;
- продолжительная сила тяги..... 288 кН.

**Тормозная характеристика.** На локомотиве возможно рекуперативное торможение при скорости более 5 км/ч. Кривая тормозной характеристики локомотива показана на рисунке 2.

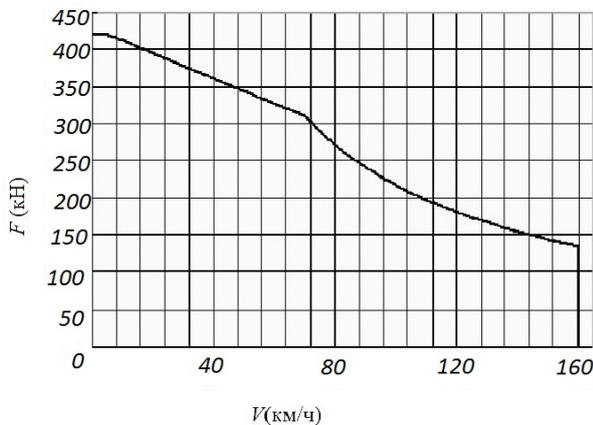


Рисунок 1 – Тяговая характеристика локомотива

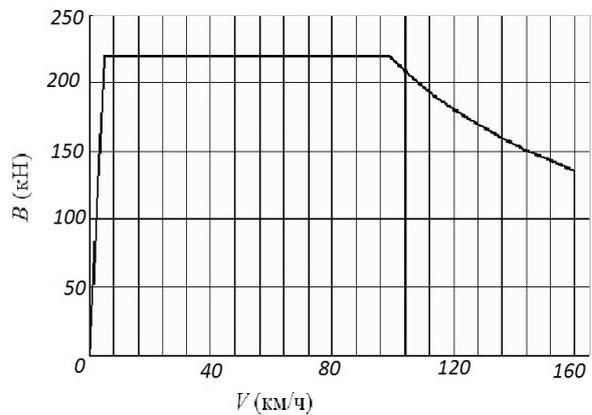


Рисунок 2 – Тормозная характеристика локомотива

Параметры тормозной характеристики:

- способ электрического торможения.....рекуперативный;
- максимальная сила электрического торможения ..... 220 кН;
- тормозная мощность на ободе колес.....6000 кВт.

**Внешний вид и механическая часть.** Кузов электровоза и механическая часть проектировались и изготавливались инженерами ЧЭК. Внешний вид электровоза представлен на рисунке 3.

Основные особенности механической части состоят в том, что у электровоза имеются две трехосные тележки. Подвешивание двигателей опорно-рамное. За счет опорно-рамного подвешивания тяговых двигателей, максимальная скорость электровоза повышена до 160 км/ч. Еще одной особенностью локомотива является дисковая тормозная система взамен колодочной, которая успешно показала себя во время испытаний.



Рисунок 3 – Внешний вид электровоза

Также, одной из особенностей электровоза является расположение тягового трансформатора под кузовом. Оборудование на электровозе расположено так, чтобы проход внутри электровоза осуществлялся по центру (рисунок 4).

Также, одной из особенностей электровоза является расположение тягового трансформатора под кузовом. Оборудование на электровозе расположено так, чтобы проход внутри электровоза осуществлялся по центру (рисунок 4).

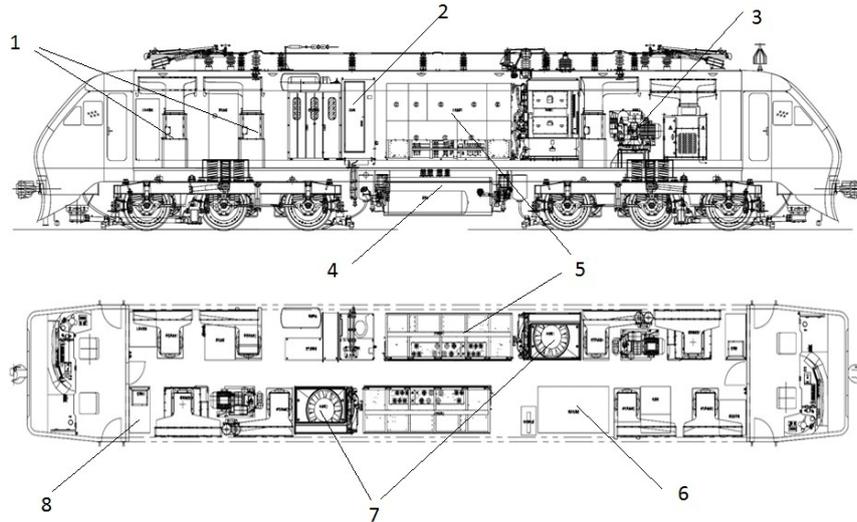


Рисунок 4 – Расположение оборудования в локомотиве; 1-охладители; 2-санузел; 3-компрессор; 4-тяговый трансформатор; 5-тяговые преобразователи; 6-низковольтный шкаф; 7-системы охлаждения тяговых преобразователей; 8-кондиционер

**Электрическая часть.** Электрическая часть электровоза выполнена полностью на элементной базе компании «Siemens».

Основными частями высоковольтного оборудования являются токоприемник, крышесые разъединители, высоковольтные выключатели, главный трансформатор с одной первичной обмоткой, с четырьмя вторичными тяговыми обмотками и вспомогательной обмоткой. Тяговые обмотки питают четыре главных инвертора (рисунок 5).

Асинхронные тяговые электродвигатели получают питание от вторичных обмоток трансформатора через четырехквadrантные преобразователи, которые обеспечивают регулирование

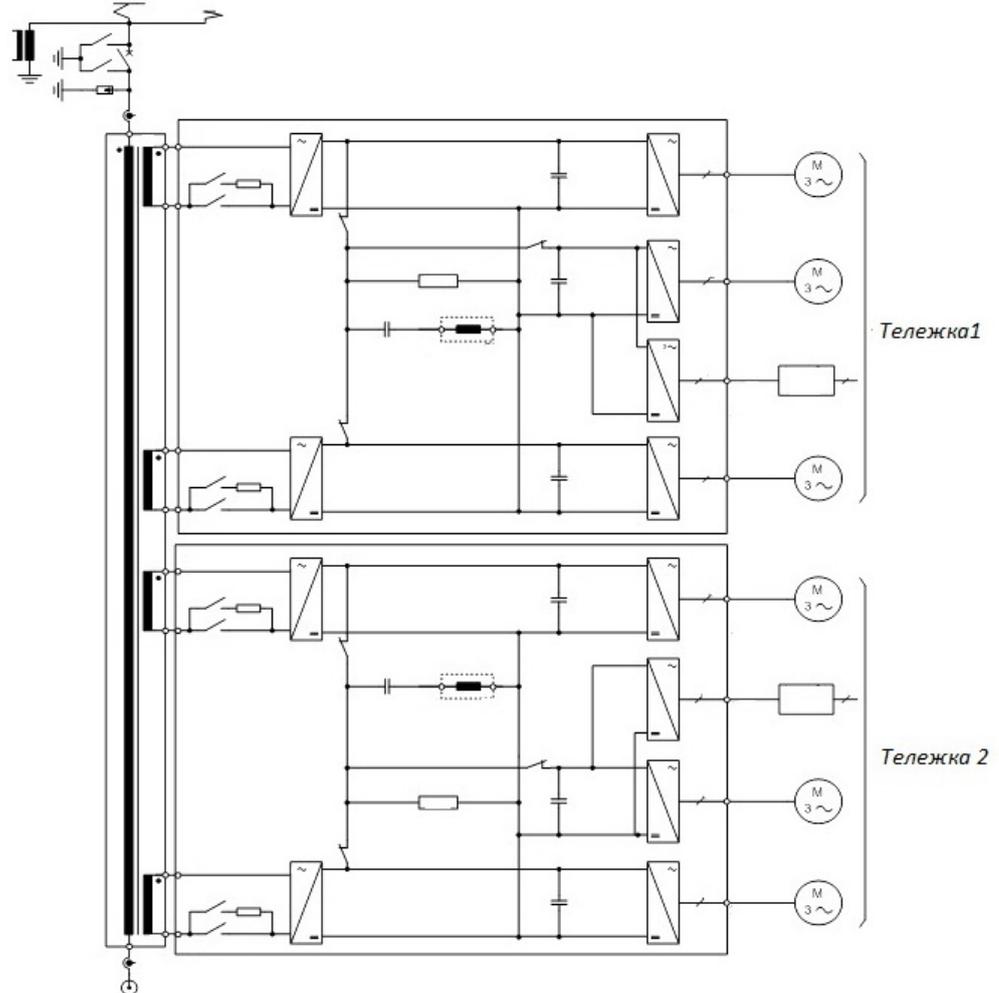


Рисунок 5 – Принципиальная электрическая схема электровоза

напряжения, частоты на тяговых электродвигателях и коэффициента мощности [1, 2]. Системой управления, которая осуществляет регулирование этих параметров, является SIBAS 32 [3].

В отличие от электровозов серии «O'ZBEKISTON» («УЗБЕКИСТАН» электровозы первого поколения), тяговые преобразователи электровозов серии «O'Z-Y» оснащены IGBT транзисторами, вместо GTO тиристором. Сравнение осциллограммы выходного напряжения на разных преобразователях приведены на рисунок 6.

**Закключение.**

Первый электровоз стал результатом совместной работы китайских инженеров, инженеров компании «Siemens», российских инженеров, а также активного участия специалистов из Узбекистана. Восемь лет эксплуатации на электрифицированных железных дорогах Узбекистана показали, что электровоз достаточно удачный и пригоден для осуществления перевозок в условиях Узбекистана. Электровозы зарекомендовали себя с хорошей стороны, что и послужило продолжению отношений с Чжучжоуской электровозостроительной компанией. Судя по успешному проведению испытаний, электровоз второго поколения имеет все возможности, чтобы повторить успех первой серии.

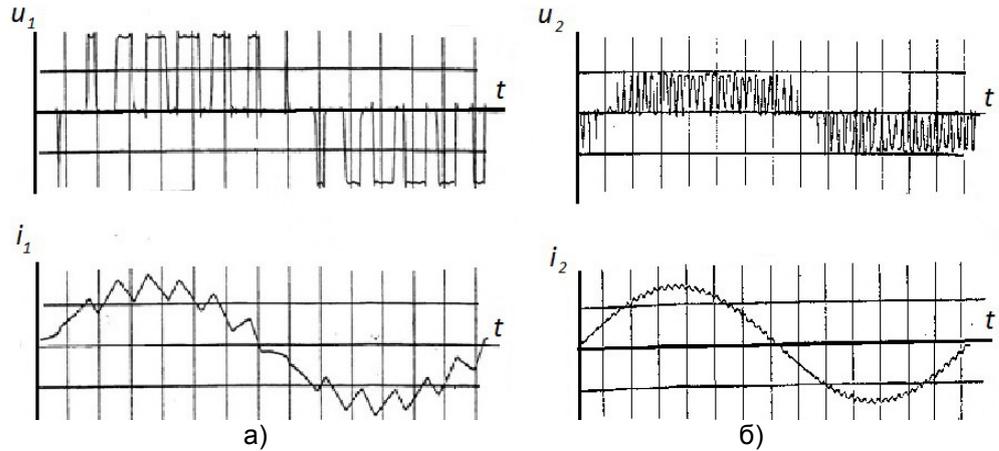


Рисунок 6 – Осциллограммы выходного напряжения и тока преобразователей: а) на GTO-транзисторах; б) на IGBT транзисторах

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Плакс, А.В. Системы управления электрическим подвижным составом: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / А.В. Плакс. -М.: Маршрут, 2005. -357 с.  
 2 Литовченко, В.В. 4q-S – четырехквadrантный преобразователь электровозов переменного тока / В.В. Литовченко // Изв. высших учеб. заведений. Электромеханика. -2000. - №3. -С. 64-73.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** пассажирский электровоз серии «O'Z-Y», основные характеристики, электрическая часть, четырехквadrантный преобразователь  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Плакс Алексей Владимирович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «ПГУПС»  
 Раджибаев Давран Октамбаевич, аспирант ФГОУ ВПО «ПГУПС»  
 Турсунов Хуршид Махмуджанович, аспирант ФГОУ ВПО «ПГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 190031, г.Санкт-Петербург, пр. Московский, 9, ФГОУ ВПО «ПГУПС»

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА КОНТАКТНЫХ ПАР УСТРОЙСТВ ТОКОСЪЕМА МОНОРЕЛЬСОВОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА**

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»  
**С.А. Ступаков, В.М. Филиппов, Т.В. Охрименко**

**MATHEMATICAL MODELING OF WEAR OF CONTACT PAIRS OF DEVICES OF CURRENT COLLECTION OF MONORAIL ELECTRIC VEHICLES**  
 «Omsk state transport university»  
 S.A. Stupakov, V.M. Philippov, T.V. Okhrimenko

In the article are presented a mathematical model of prediction of wear of contact pairs of devices of current collection of monorail electric vehicles

Keywords: mathematical model, wear, contact pair, nomogram, tribosystem

Получена математическая модель для прогнозирования износа контактных пар устройств токосъема монорельсового электрического транспорта.

Реализация методики экспериментальных исследований износа материалов контактных пар устройств токосъема требует наличия специализированных экспериментальных комплексов, а также значительных времени и ресурсов. Для сокращения объема экспериментальных исследований может быть использован комбинированный способ – совокупность необходимого минимума экспериментальных исследований реальных объектов (или их аналогов) и методов расчета, основанных на математическом моделировании процессов, происходящих в контактных парах устройств токосъема. В соответствии с разработанной методикой необходимый объем экспериментальных исследований выполняется с помощью специализированного комплекса [2], а полученные результаты служат входными данными для дальнейшего выполнения расчетов с помощью математической модели и прогнозирования ресурсов контактных пар.

Моделирование процесса трения в контактных парах устройств токосъема связано с необходимостью решения многофакторной задачи, снизить количественный уровень которой позволяет теория подобия. Контактная пара устройства токосъема монорельсового транспорта представляет собой узел, который функционирует в условиях электромеханического износа. Ввиду неоднородности процессов механического и электрического износа были составлены модели для каждого из них.

Для моделирования механического износа в соответствии с положениями теории подобия в один критерий были объединены следующие факторы: плотность, твердость, коэффициент линейного расширения, удельная теплоемкость, теплопроводность [1], а также определена группа факторов, составляющих модель:

- нагрузка на образец  $P$ ,  $H$ ;
- интегральный коэффициент поверхности  $r$ , м;
- скорость скольжения  $v$ , м/с;
- время испытания  $t$ , с;
- содержание меди в материале контактного элемента (КЭ)  $M$ , %;
- твердость материалов токопровода и контактного элемента  $H_1, H_2$ ;
- теплопроводность материала контактного элемента  $\lambda_1$ , Вт/(м·К);
- удельную теплоемкость токопровода  $c_2$ , Дж/(кг·К).

В качестве параметра оптимизации принят износ массы  $I_m$ . В соответствии с положениями теории подобия было получено уравнение

$$\frac{I_m}{P} = a_0 \left( \frac{P \cdot t \cdot c_2}{r^2 \lambda_1} \right)^{\alpha_m} \left( \frac{v \cdot t}{r} \right)^{\beta_m} (M)^{\gamma_m} \left( \frac{H_1}{H_2} \right)^{\varepsilon_m}, \quad (1)$$

где  $a_0$  – постоянная, отражающая влияние на процесс неучтенных факторов;

$\alpha_m, \beta_m, \gamma_m, \varepsilon_m$  – коэффициенты, определяемые экспериментально;

$I_m/P$  – симплекс (отношение износа массы контактного элемента к давлению);

$Ptc_2/(r^2\lambda_1)$  – комплекс (мера отношения удельной мощности трения к способности токопровода накапливать, а контактного элемента – передавать тепло);

$vt/r$  – отношение пути трения к коэффициенту поверхности контактного элемента.

Введем обозначения

$$X_1 = \frac{P \cdot t \cdot c_2}{r^2 \lambda_1}; X_2 = \frac{v \cdot t}{r}; X_3 = M; X_4 = \frac{H_1}{H_2}. \quad (2)$$

где  $X_1 \dots X_4$  – независимые переменные (факторы).

Тогда расчетное уравнение (1) можно представить в виде

$$y = a_0 \cdot X_1^{\alpha_m} \cdot X_2^{\beta_m} \cdot X_3^{\gamma_m} \cdot X_4^{\varepsilon_m}, \quad (3)$$

Прологарифмируем это уравнение

$$\ln \hat{y} = \ln a_0 + \alpha_m \ln X_1 + \beta_m \ln X_2 + \gamma_m \ln X_3 + \varepsilon_m \ln X_4, \quad (4)$$

и запишем в виде

$$\hat{y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4, \quad (5)$$

где  $\hat{y}$  – оценка параметра оптимизации;

$b_1, b_2, b_3, b_4$  – оценки коэффициентов.

В результате обработки экспериментальных данных получены коэффициенты уравнения. Например, для контактной пары «меднографитовый композит – БрНХ» ( $P = 10$  Н) урав-

нение (4) имеет вид

$$\ln \hat{y} = -3,9376 - 0,425 \ln X_1 + 0,79 \ln X_2 + 0,33 \ln X_3 + 0,769 \ln X_4.$$

Приведенные выше зависимости были использованы для решения задачи об определении оптимальных условий механического изнашивания (поиске области оптимума) для различных материалов контактной пары. Выполняем потенцирование уравнения (4)

$$\frac{I_m}{P} = \exp(-3,9376) \cdot \left( \frac{P \cdot t \cdot c_2}{r^2 \lambda_1} \right)^{-0,425} \left( \frac{v \cdot t}{r} \right)^{0,79} (M)^{0,33} \left( \frac{H_1}{H_2} \right)^{0,769} \quad (6)$$

На основании анализа уравнения (6) можно сделать вывод, что наиболее значительное влияние на износ оказывают механические свойства пары трения, а наименее значительный вклад в процесс изнашивания вносит параметр, учитывающий изменение нагрузки. Скорость трения и отношение твердостей также вносят весомый вклад в процесс изнашивания. Особая роль отводится фактору  $M$ , так как он представлен в чистом виде и не входит в комплекс в виде составляющей – это указывает на ведущее влияние данного фактора на процесс изнашивания.

На рисунках 1 и 2 приведены номограммы для определения коэффициентов модели  $a_0$  и  $\alpha_m$ ,  $\beta_m$ ,  $\gamma_m$ ,  $\varepsilon_m$  от давления изменяются незначительно.

На рисунке 3 приведены графики механического износа контактных элементов из меднографитового композита, полученные экспериментально и в результате расчета на модели.

Дальнейшее развитие модели учитывает наличие электрического тока в контакте, влияние которого может рассматриваться как дополнительный внешний параметр трибосистемы «контактный элемент-токопровод», изменяющий характеристики скользящего контакта. Износ контактных пар устройств тока можно представить с помощью функциональной зависимости между такими факторами:

- дугостойкость материала,  $c$ ;
- количество электричества, прошедшее через дугу,  $A \cdot c$ ;
- контактное нажатие,  $H$ ;
- длина пути трения,  $m$ ;
- комплекс, учитывающий изменение шероховатости поверхностей;
- комплекс, учитывающий износ при токовой нагрузке без искрения.

Общий электрический износ можно определить по формуле, приведенной в работе [2]

$$W = \gamma Q + sP \left( W_0 + W_1 \sqrt{\frac{I}{10}} + g \sqrt{\frac{Q}{s}} \right), \quad (7)$$

где  $\gamma$  – коэффициент, характеризующий дугостойкость материала;

$Q$  – количество электричества, прошедшее через дугу;

$W_0$  – коэффициент износа от механической нагрузки (без тока);

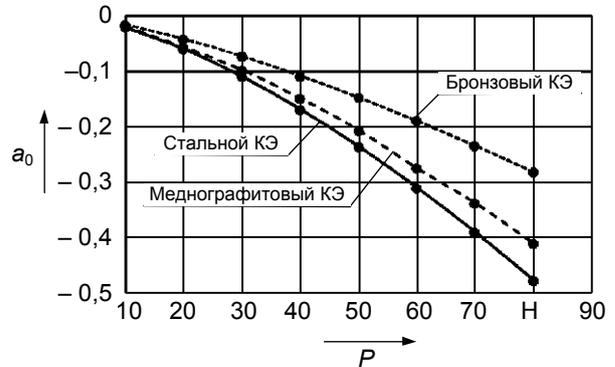


Рисунок 1 – Номограммы для определения коэффициента  $a_0$  модели

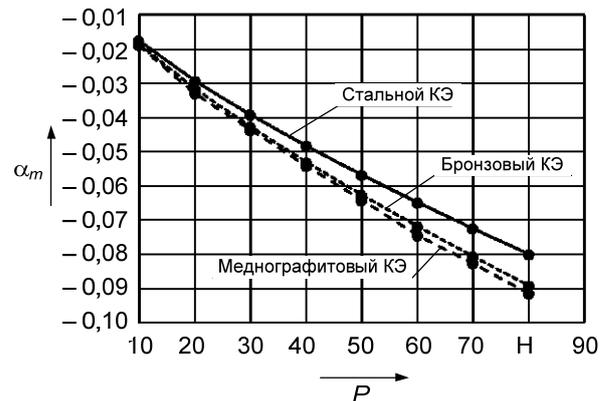


Рисунок 2 – Номограммы для определения коэффициентов  $\alpha_m$  модели

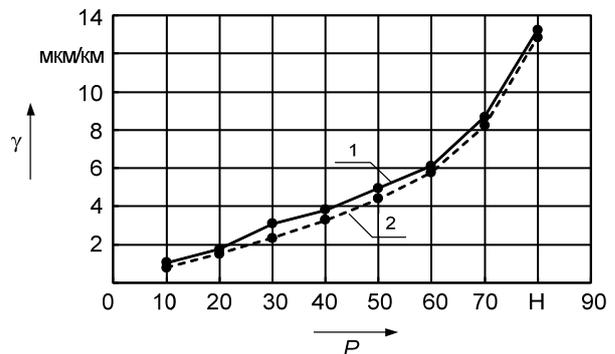


Рисунок 3 – Износ контактного элемента (меднографитовый композит с токовой нагрузкой  $I = 0$  А): 1-результаты эксперимента; 2-расчет

- $P$  – контактное нажатие;
- $s$  – длина пути трения;
- $g$  – коэффициент, характеризующий износ материала вследствие повышения шероховатости поверхностей;
- $W_1$  – коэффициент износа при токовой нагрузке без искрения.

Используя результаты анализа экспериментальных исследований электрического износа, преобразуем выражение (7) к виду (8), Такое преобразование позволяет получить зависимость, позволяющую оценивать электрический износ элементов контактной пары

$$I_3 = \xi(\gamma, Q) + X_1^{k_1} \left[ W_1(P, k_1, k_2) I^{k_3} + g(P, k_4, k_5) \sqrt{Q/s} \right], \quad (8)$$

где  $\xi(\gamma, Q)$  – коэффициент, характеризующий электроэрозионный износ от дугостойкости материала;

$k_1 \dots k_5$  – коэффициенты, определяемые экспериментально;

$k_3$  – коэффициент, учитывающий род тока (переменный или постоянный) и полярность контактного элемента (анодно- или катодно-поляризованный).

Таким образом, с учетом уравнений (1) и (8) можно получить суммарный электромеханический износ элементов контактной пары

$$I_{\Sigma} = I_3 + I_m.$$

Сравнение результатов расчета и экспериментальных исследований представлено на рисунке 4, отклонение расчетных и экспериментальных данных составляет не более 6%.

Результаты экспериментальных исследований и расчета использованы для оптимального выбора материалов контактных пар устройств токосъема с жестким токопроводом, оценке работоспособности элементов трибосистемы «контактный элемент-токопровод» и при прогнозировании их ресурсов.

Выводы:

- Создана математическая модель, позволяющая выполнять расчет электромеханического износа контактных пар устройств токосъема монорельсового транспорта;

- Анализ экспериментальных исследований и результатов расчета показывает, что отклонение значений составляет не более 6% для различных материалов.

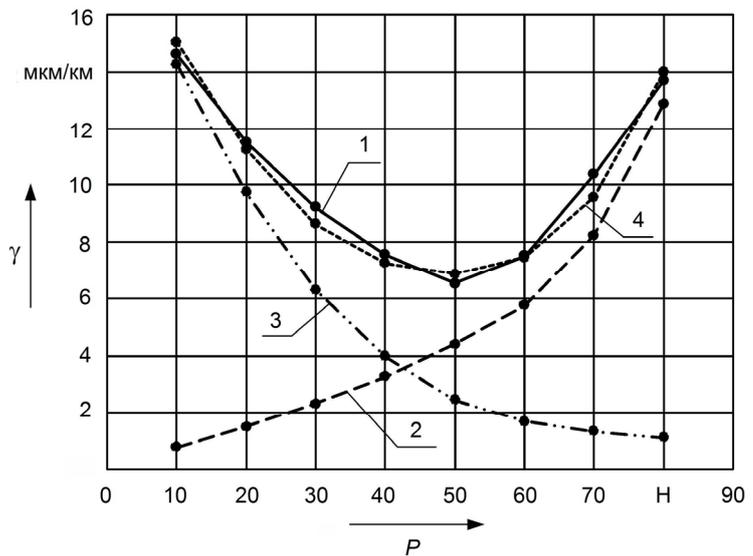


Рисунок 4 – Расчетные и экспериментальные зависимости износа контактного элемента из меднографитового композита: 1-экспериментальные данные (с токовой нагрузкой  $I = 100 \text{ A}$ ); 2-данные расчета (без тока  $I = 100 \text{ A}$ ); 3-данные расчета (с токовой нагрузкой  $I = 100 \text{ A}$ ); 4-суммарная расчетная зависимость

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Браун, Э.Д. Моделирование трения и изнашивания в машинах / Э.Д. Браун, Ю.А. Евдокимов, А.В. Чичинадзе. -М.: Машиностроение, 1982. -191 с.  
 2 Сидоров, О.А. Методы исследования износа контактных пар устройств токосъема монорельсового электрического транспорта / О.А. Сидоров, С.А. Ступаков. -Омск: ОмГУПС, 2009. -155 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: математическая модель, износ, контактная пара, номограмма, трибосистема  
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Ступаков Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «ОмГУПС»  
 Филиппов Виктор Михайлович, аспирант ГОУ ВПО «ОмГУПС»  
 Охрименко Татьяна Витальевна, аспирант ГОУ ВПО «ОмГУПС»  
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ГОУ ВПО «ОмГУПС»

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

ООО Научно-инновационный центр «Индукционное машиностроение»

**Н.К. Ефимов, А.И. Елшин, С.Л. Собин, С.С. Прудников, М.А. Дмитриева**

EMPLOYMENT ELECTRIC POWER FOR HEAT SUPPLY REPUBLIC SAKHA (YAKUTIA)

«Novosibirsk state academy of water transport»

«Induction mechanical engineering»

N.K. Efimov, A.I. Elshin, S.L. Sobin, S.S. Prudnikov, M.A. Dmitrieva

In the article questions electric power for heat supply settlements with scattered population of Sakha (Yakutia) in the most distant from thermoelectric power station and oil-gas- coal producing regions are considered. Inductive-conductive heaters are produced ecologically clean warm with high parameters. The effectiveness of electric heating are submitted.

*Keywords: electric power, heat supply, inductive-conductive heater*

Рассмотрены вопросы использования электроэнергии для теплоснабжения рассредоточенных поселений Республики Саха (Якутия), удаленных от центрального теплоснабжения и источников топлива. Индуктивно-кондуктивные нагреватели создают экологически чистое тепло с высокими характеристиками. Показана эффективность практического применения электроотопления.

Проблема рационального развития систем теплоснабжения на Крайнем Севере требует все большего внимания в связи с тем, что наличие тепла – главное условие для производственной и социальной деятельности населения. Эта проблема приобретает еще большую остроту и актуальность при постоянной тенденции к удорожанию топлива и транспортировки энергии для потребителей в экстремальных климатических условиях.

Необходима переоценка подходов к политике развития и использования энергетических источников и ресурсов. При формировании этих подходов в районах Крайнего Севера необходимо учитывать следующие специфические особенности:

- территория относится к многолетним мерзлым грунтам, а по климату – к зоне арктического, субарктического пояса; потребители локальных и отдаленных участков освоения и развития относятся к зоне децентрализованного электро-, теплоснабжения и сезонного топливоснабжения;

- отсутствие постоянных (круглогодичных) транспортных связей и ограниченные возможности строительной промышленной индустрии;

- длительные сроки отопительного периода в связи с экстремальными низкими температурами;

- значительные затраты на привозное топливо, проблемы его транспортировки и хранения, трудности эксплуатации котельных на органическом топливе.

Актуальным представляется изыскание альтернативных, экологически чистых вариантов получения тепла. Одним из направлений решения проблемы применительно к рассредоточенным потребителям является применение электрической энергии для целей теплоснабжения.

Характерными особенностями поселений Республики Саха (Якутия) является территориальная рассредоточенность и малая плотность тепловой нагрузки, обусловленная существующей малозэтажной и малообъемной застройкой, что затрудняет применение обычной схемы централизованного теплоснабжения.

В 590 сельских населенных пунктах республики имеется около 2000 маломощных котельных, свыше 100 тыс. автономных печей на угле и дровах. Коэффициент полезного использования таких отопительных систем колеблется в пределах 0,23-0,46, себестоимость тепловой энергии достигает более 3000 руб./Гкал.

Кроме того, обостряется проблема снабжения сельского населения дровами, где потребление на семью ежегодно составляет около 25 м<sup>3</sup>. Значительное удорожание затрат на заготовку дров в результате истощения местных лесных ресурсов вокруг населенных пунктов привели к тому, что использование электрической энергии на дополнительный обогрев жилых помещений, приготовление пищи для потребителей экономически выгоднее, чем использование дров на эти цели, даже несмотря на ежегодный рост тарифов на электроэнер-

гию.

Каждый год для отопления жилищного фонда Сунтарского района Республики Саха (Якутия) заготавливается 233 тыс. м<sup>3</sup> дров, что в переводе на площадь равняется 341,7 га лесного массива. При этом затраты населения при цене 750 руб./м<sup>3</sup> дров равны 174 975 тыс. руб.

Социологические исследования показали, что ежедневно на заготовку дров и топку печей семья тратит 40% личного времени. При этом, с учетом обслуживания котельных, централизованной заготовкой топлива и самозаготовкой дров занято около половины мужского населения села.

Отмеченные факторы являются объективными предпосылками для принятия решения по переводу теплоснабжения рассредоточенных населенных пунктов на электрическую энергию.

В Вилюйской группе районов, расположенных в Западном энергорайоне Республики, имеется реальная возможность электрифицировать процессы теплоснабжения по следующим причинам.

Электроснабжение потребителей Западного энергорайона осуществляется от каскада Вилюйских ГЭС-1 и ГЭС-2 суммарной установленной мощностью 680 МВт, Светлинской ГЭС (третьей ГЭС Вилюйского каскада) – 270 МВт и Мирнинской ГРЭС – 76,8 МВт. Строительство Светлинской ГЭС проектной мощностью 360 МВт не завершено, но уже имеются свободные мощности. В 2009 году электростанциями Западного энергорайона было выработано 2 701,7 млн. кВт·ч электроэнергии, при этом потенциально возможная выработка электростанций района в настоящее время оценивается в 3780 млн. кВт·ч, а при вводе на полную мощность Светлинской ГЭС – в 4180 млн. кВт·ч.

Согласно Ведомственной Программе «Перевод на электроотопление социальных, жилых и производственных объектов Сунтарского и Нюрбинского улусов Республики Саха (Якутия), отапливаемых от котельных ГУП «ЖКХ РС(Я)» на период 2007-2012 годы» была проведена определенная работа по ее реализации.

За счет финансирования из бюджета РС(Я) на электроотопление переведены поселения Шея, Бордон и Туойдах Сунтарского района, Нюрбинского района общей установленной мощностью 1843,3 кВт.

В связи с закрытием котельных в селах Шея, Бордон, Туойдах и Кюндядя получены следующие положительные результаты:

- 1 Сократилось потребление угля на 10 тыс. т (с 2007 по 2009 гг.);
- 2 Экономия средств на составила: по жилищному фонду – 10217 тыс. руб.; по бюджетным организациям 2919 тыс. руб.;
- 3 Сокращено количество персонала, занятого на обеспечении теплоснабжения объектов (кочегары, операторы, сантехники, слесари и т.д.) – около 82 человек;
- 4 Реализация электроэнергии «Энергосбыт» ОАО АК «Якутскэнерго» на цели электроотопления в 2010 году составило 18592 тыс. кВт·ч электроэнергии на сумму 14994 тыс. руб.;
- 5 Полностью исключены выбросы вредных веществ в атмосферу;
- 6 Сокращена вырубка лесных массивов для заготовки дров на отопление объектов социального значения и индивидуального жилого сектора;
- 7 Повышено качество и надежность электроснабжения в связи со вводом участков ВЛ-220 кВ «Мирный-Сунтар-Нюрба», реконструкцией ПС-110 «Тойбохой», строительством ВЛЗ-10 кВ в с. Кюндядя;
- 8 В период с 2007 по 2010 гг. на объектах, переведенных на электроотопление, не было зафиксировано аварийных ситуаций;
- 9 На объектах, переведенных на электроотопление в период 2007-2009 гг., отмечается повышение теплового комфорта и пожелание населения на дальнейшее широкое внедрение электроотопления в частном жилом секторе.

При оснащении объектов социальной сферы приоритетом должны пользоваться системы прямого стационарного электроотопления. Под прямым стационарным электроотоплением понимают набор приборов, которые преобразуют электроэнергию непосредственно в тепло без промежуточных теплоносителей, в частности, настенные и напольные электроконвекторы.

Согласно письма Управления Ростехнадзора по Республике Саха (Якутия) №01-12/1495 от 07.06.06 г. системы автономного электроотопления без промежуточных теплоносителей относятся к электроприемникам 3-й категории, что значительно удешевляет строительство

питающих электросетей. При этом не требуется строительство двухцепных ЛЭП, двухтрансформаторных КТП, резервных ДЭС.

В частном жилом секторе с водяной системой отопления в качестве основного теплогенератора целесообразно применить электрические индуктивно-кондуктивные нагреватели. Печное отопление в данном случае сохраняется в качестве резервного (аварийного) на случай перерыва электроснабжения.

В частном жилом секторе без водяной системы отопления целесообразно применить индуктивно-кондуктивные электроконвекторы.

Общеизвестно, что индуктивно-кондуктивные нагреватели отличаются высокой электро- и пожаробезопасностью, надежностью и долговечностью. Срок службы этих нагревателей определяется качеством изоляции и достигает 30 лет и более. Высокие энергетические показатели – коэффициент мощности и КПД равны единице, в отличие от нагревателей индукционного типа, в том числе и с трубчатой камерой нагрева.

Оснащение жилого дома с водяной системой отопления электрическим котлом мощностью 9-12 кВт оценивается в 20-25 тыс. руб. На оснащение дома электрическими конвекторами такой же мощности потребуется финансовых средств в пределах 30-60 тыс. руб. Такие объемы инвестиций многим сельским семьям не представляются возможными.

С этой целью должны быть предусмотрены субсидии отдельным категориям граждан (малоимущим, пенсионерам, ветеранам, многодетным семьям и т.д.) для оснащения их жилых домов системами автономного электроотопления.

Для остальных граждан необходимо предусмотреть механизм кредитования, аналогичный реализованному по программе газификации.

Разработчиками Программы «Перевод на электроотопление социальных, жилых и производственных объектов Вилюйской группы улусов Республики Саха (Якутия) на период 2011-2015 годы с учетом перспективы газификации населенных пунктов» предлагается вариант нормативов жилищно-коммунальных услуг для расчетов норм потребления электрической энергии на электроотопление и электрообогрев, а также норм для расчетов на предоставление субсидий на оплату жилья и коммунальных услуг.

Удельный годовой расход электроэнергии для отопления и горячего водоснабжения в соответствии с нормативными материалами принят равным 500 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Принимая в расчет социальную норму площади жилья на одного человека 18 м<sup>2</sup> общей площади на одного человека и дополнительно 9 м<sup>2</sup> на семью из четырех человек, определяется общая площадь, на которую распространяется субсидия – 81 м<sup>2</sup>.

Объем электроэнергии на отопление составит 40500 кВт·ч. Стоимость электроэнергии при цене 1,35 руб./кВт·ч).

Исходя из уровня тарифов на электроэнергию и на тепло, определяется объем субсидирования.

Например, для Сунтарского улуса на 2010 год были распространены тарифы: тепло – 17,03 руб./м<sup>2</sup> в месяц, без НДС, для населения; электроэнергия на электроотопление – 1,35 руб./кВт·ч, без НДС, для населения.

Затраты на электроотопление будут равны 54675 руб./год, затраты на тепло – 17,03×81×12 месяцев = 16553,2 руб./год. Следовательно, объем субсидирования в год должен составить: 54675 – 16553,2 = 38121,84 руб.

Сравнительный анализ затрат на тепловую энергию по тарифам ГУП «ЖКХ РС(Я)» в Сунтарском районе на 2010 год для отопления жилфонда при цене 3776 руб./Гкал составил:  $500 \times 0,86 \times 81 \times 3776 \times 10^{-3} = 131518$  руб., что в 2,4 раза больше, чем затраты на тепло при электроотоплении.

Полученные средние удельные показатели потребления электрической энергии электроотопительными приборами в зависимости от функционального назначения объекта, тарифы на электрическую и тепловую энергию позволяют рассчитывать сроки окупаемости капитальных вложений при переводе на электроотопление.

С учетом государственной дотации, которая составляет 69,7% расчетных нормативных затрат на теплоснабжение зданий, окупаемость оценивается в среднем 3,2 года. Это показывает на очень высокую экономическую эффективность Программы.

Эксплуатационные расходы действующей системы теплоснабжения почти в три раза больше расходов на электроотопление. При переходе на электроотопление окупаемость вложенных средств составляет 3-4 года за счет уменьшения эксплуатационных расходов, что является хорошим показателем при оценке эффективности капвложений. Следует также

учесть, что действующая система теплоснабжения уже в настоящее время требует проведения капремонта.

Как показали расчеты, теплоснабжение на основе природного газа требуют на порядок больше средств, чем электроотопление. Сроки монтажных работ намного больше, чем монтаж электрических распределителей. Эксплуатационные расходы газовых котельных превышают расходы на электроотопление в пять раз. Ежегодно возникают проблемы по завозу газо-конденсата, по бесперебойности и надежности электроснабжения котельных. Также необходимо отметить, что при газификации районов возникнет вопрос субсидирования сельского населения из-за высоких тарифов на природный газ.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электрическая энергия, теплоснабжение, индуктивно-кондуктивный нагреватель  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Ефимов Николай Константинович, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
 Елшин Анатолий Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
 Собин Сергей Леонидович, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
 Прудников Сергей Сергеевич, аспирант-стажер ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
 Дмитриева Мария Анатольевна, экономист ООО НИЦ «ИНМАШ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
 630188, г. Новосибирск, ул. Станционная, 38, ООО НИЦ «ИНМАШ»

## **АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ И МЕСТА ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ**

ГОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

**К.И. Никитин**

**ALGORITHM OF DEFINITION OF THE DAMAGED JOINING AND PLACE SINGLE-PHASE SHORT CIRCUIT ON THE EARTH IN A NETWORK WITH THE ISOLATED NEUTRAL AND ITS REALIZATION**  
 «Omsk state technical university»  
 K.I. Nikitin

The algorithm of definition of the damaged joining and place single-phase short circuit on the earth in a network with the isolated neutral is offered. It is based on comparison of the remembered capacitor currents of lines at artificial short circuit on tires with emergency currents. The variant of realization of the offered algorithm is given.

*Keywords: single-phase short circuit on the earth, the damaged joining, the isolated neutral, a capacitor current*

Предложен алгоритм определения поврежденного присоединения и места однофазного замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью. Он основан на сравнении запомненных емкостных токов линий при искусственном замыкании на шинах с аварийными токами. Дан вариант реализации предложенного алгоритма.

Определение места повреждения всегда является актуальной задачей не только на ЛЭП с большой протяженностью, но и в сетях с напряжением 6...10 кВ. В настоящее время в сетях 110 кВ и выше место однофазного короткого замыкания (КЗ) на ЛЭП определяется с довольно высокой точностью – менее 5 % [1], а в сетях с изолированной и компенсированной нейтралью однофазное замыкание на землю (ОЗЗ) остается труднорешаемой задачей. Эта проблема остается актуальной [2].

Алгоритм определения места однофазного замыкания [3] основан на том, что ток ОЗЗ носит емкостный характер (рисунок 1).

При ОЗЗ в каждой неповрежденной линии через трансформатор тока нулевой последовательности (ТТНП) протекает ее собственный емкостный ток нулевой последовательности (НП) в направлении от шин в линию [4]. Для линий  $w_n, \dots, w_2$  токи находятся в соответствии с [5] по формулам:

$$I_{3n} = j \cdot 3 \cdot \omega \cdot C_{\text{Л}n} \cdot E_{\Phi} = I_{Cn}; \quad I_{32} = j \cdot 3 \cdot \omega \cdot C_{\text{Л}2} \cdot E_{\Phi} = I_{C2}, \quad (1)$$

причем величины этих токов могут быть найдены таким образом:

$$I_{Cn} = 3 \cdot \omega \cdot C_{y\partial,n} \cdot I_{\text{Л}n} \cdot U_{\Phi} = I_{y\partial,n} \cdot I_{\text{Л}n}; \quad I_{C2} = 3 \cdot \omega \cdot C_{y\partial,2} \cdot I_{\text{Л}2} \cdot U_{\Phi} = I_{y\partial,2} \cdot I_{\text{Л}2}, \quad (2)$$

где  $C_{y\partial,n}, \dots, C_{y\partial,2}$  – удельные емкости  $n$ -ой, ..., второй линий, мФ/км;

$I_{y\partial,n}, \dots, I_{y\partial,2}$  – удельные токи  $n$ -ой, ..., второй линий, А/км;

$l_{\text{Л}n}, \dots, l_{\text{Л}2}$  – длины  $n$ -ой, ..., второй линий, км.

В поврежденной линии  $w_1$  ток равен

$$I_{31} = I_{Cn} + \dots + I_{C2} + I_{C1} - I_{C1,2} = I_{Cn} + \dots + I_{C2} + I_{C1,1} \quad (3)$$

Зная собственный емкостный ток линии  $w_1$

(при аналогичном ОЗЗ на другой линии)

$$I_{C1} = 3 \cdot \omega \cdot C_{y\partial,1} \cdot I_{Л1} \cdot U_{\phi} = I_{y\partial,1} \cdot I_{Л1}, \quad (4)$$

где  $C_{y\partial,1}$  – удельная емкость первой линии, мФ/км;

$I_{y\partial,1}$  – удельный ток первой линии, А/км;

$I_{Л1}$  – длина первой линии, км;

и суммарный емкостный ток сети

$$I_{C\Sigma} = I_{Cn} + \dots + I_{C2} + I_{C1}, \quad (5)$$

нетрудно найти разницу между суммарным емкостным током сети и током поврежденной линии

$$I_{C\Sigma} - I_{31} = (I_{Cn} + \dots + I_{C2} + I_{C1}) - (I_{Cn} + \dots + I_{C2} + I_{C1,1}) = I_{C1} - I_{C1,1}. \quad (6)$$

Так как ОЗЗ делит линию  $w_1$  на две части  $I_{Л1,1}$  и  $I_{Л1,2}$ , а их емкости пропорциональны расстояниям, учитывая это

$$I_{C1} = I_{C1,1} + I_{C1,2}, \quad (7)$$

перепишем (6)

$$I_{C\Sigma} - I_{31} = I_{C1} - I_{C1,1} = I_{C1,2}. \quad (8)$$

Поделив полученный результат на  $3 \cdot \omega \cdot C_{y\partial,1} \cdot U_{\phi}$ , мы получим

$$\frac{I_{C\Sigma} - I_{31}}{3 \cdot \omega \cdot C_{y\partial,1} \cdot U_{\phi}} = \frac{I_{C1,2}}{3 \cdot \omega \cdot C_{y\partial,1} \cdot U_{\phi}} = \frac{3 \cdot \omega \cdot C_{y\partial,1} \cdot I_{Л1,2} U_{\phi}}{3 \cdot \omega \cdot C_{y\partial,1} \cdot U_{\phi}} = I_{Л1,2}, \quad (9)$$

или можно поделить на  $I_{y\partial,1}$ , но при случае, что линия однородна, то есть имеет одинаковые КЛЭП или ВЛЭП с одинаковыми сечениями вдоль всей линии

$$\frac{I_{C\Sigma} - I_{31}}{I_{y\partial,1}} = \frac{I_{C1,2}}{I_{y\partial,1}} = \frac{I_{y\partial,1} \cdot I_{Л1,2}}{I_{y\partial,1}} = I_{Л1,2}. \quad (10)$$

Таким образом по предложенному алгоритму [3] можно определить место повреждение или расстояние от конца линии  $w_1$  до места ОЗЗ.

Но при кажущейся простоте непонятно каким образом найдем собственный емкостной ток поврежденной линии, в данном случае  $w_1$  и суммарный емкостный ток сети. Предлагается два пути:

– если параметры сети не меняются, то можно как постоянные величины записать данные каждой линии;

– если параметры сети могут меняться в зависимости от режимов работы оборудования, времени года и т.д., то предлагается периодически делать измерения параметров сети и запоминать их на определенный период времени, до следующих измерений.

Для измерений параметров сети предлагается кратковременно периодически делать искусственное ОЗЗ (рисунок 2) ключом «К» на шинах, тогда определение места повреждения может быть найдено согласно выше приведенным математическим выкладкам.

Реализация алгоритма возможна как аппаратная (при использовании жесткой логики, аналоговой и (или) цифровой техники), так и программная (при выполнении на контроллерах). На рисунке 3 представлена структурная схема устройства для определения поврежденного присоединения и места однофазного замыкания в сети с изолированной нейтралью при выполнении на жесткой логике. На схеме Q1, Q2, ..., Qn, К – выключатели 1, 2, ..., n-го и k-го при-

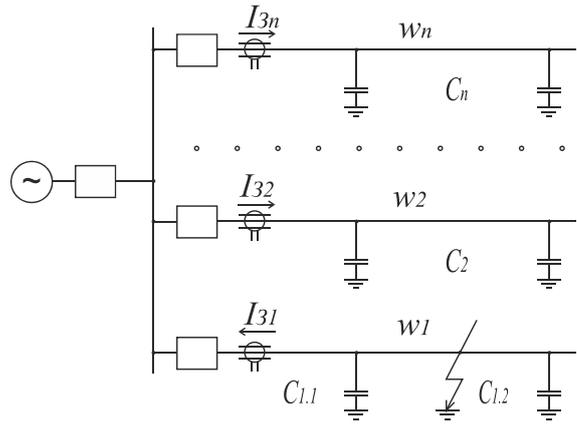


Рисунок 1 – Сеть с ОЗЗ на линии  $w_1$

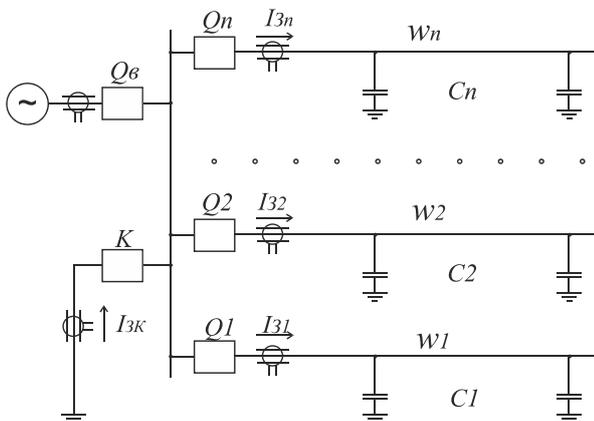


Рисунок 2 – Сеть с ключом для искусственного ОЗЗ

соединений соответственно; ПТ1, ПТ2, ..., ПТn, ПТк – преобразователи тока 1, 2, ..., n-го присоединений соответственно; В1.1, В1.2, ..., В1.n и В2.1, В2.2, ..., В2.n - первые и вторые вычитатели 1, 2, ..., n-го присоединений соответственно; П1.1, П1.2, ..., П1.n, П1.k и П2.1, П2.2, ..., П2.n –первые и вторые запоминающие устройства 1, 2, ..., n-го присоединений соответственно; К1, К2, ..., Кn – компараторы 1, 2, ..., n-го присоединений соответственно, О1, О2, ..., Оn – определители расстояния 1, 2, ..., n-го присоединений соответственно; И1, И2, ..., Иn – индикаторы 1, 2, ..., n-го присоединений соответственно; ГПИ - генератор периодических импульсов; ИЛИ – логический элемент «ИЛИ».

Устройство работает следующим образом. С определенным периодом ГПИ подает команду для замыкания выключателя «К», который делает искусственное замыкание одной фазы (на схеме «А»). Периодичность зависит от частоты изменения параметров схемы. Если схема стабильна и меняется сезонно, то и замыкание выключателя «К» происходит раз в месяц или сезон. Замыкание происходит практически на шинах, в точке замыкания протекает суммарный ток сети  $I_{\Sigma}$ , а в ТТП каждого присоединения протекают соответствующие токи  $I_{c1}, I_{c2}, \dots, I_{cn}$ .

При замыкании подается команда на запоминающие устройства П1.1, П1.2, ..., П1.n и П1.k запомнить соответствующие токи  $I_{c1}, I_{c2}, \dots, I_{cn}$  и  $I_{\Sigma}$ .

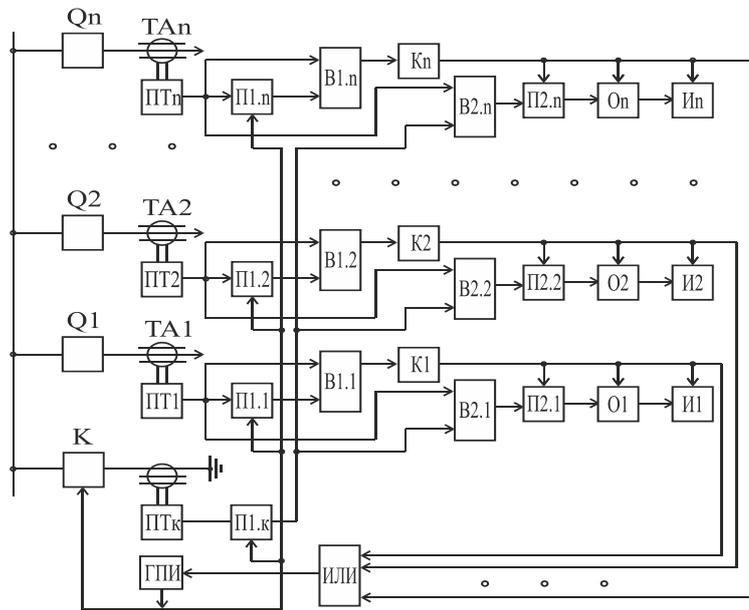


Рисунок 3 – Структурная схема устройства для определения поврежденного присоединения и места ОЗЗ

В нормальном режиме (при отсутствии ОЗЗ) токов от преобразователей тока ПТ1, ПТ2, ..., ПТn, ПТк не поступает, поэтому на вычитателях В1.1, В1.2, ..., В1.n присутствует отрицательная величина и ни один из компараторов К1, К2, ..., Кn не срабатывает.

В режиме возникновения ОЗЗ на 1-ом присоединении. По неповрежденным линиям начинает протекать собственный емкостный ток  $I_{c2}, \dots, I_{cn}$ , при этом на соответствующих выходах компараторов будут «нули». На поврежденном присоединении на выходе вычитателя В1.1 будет присутствовать величина

$$I_{B1.1} = I_{\Sigma} - I_{c1} = I_{cn} + \dots + I_{c2} + I_{c1.1} - I_{c1} \gg 0, \quad (11)$$

Что намного больше величины отстройки компаратора К1, поэтому он срабатывает, подает команду запоминающему устройству П2.1, определителю расстояния О1 и индикатору И1. В запоминающем устройстве П2.1 сохраняется величина в соответствии с (8)

$$I_{П1.1} = I_{B1.1} = I_{\Sigma} - I_{c1} = I_{c1} - I_{c1.1} = I_{c1.2}. \quad (12)$$

Определитель расстояния О1 масштабирует ток  $I_{c1.2}$  в соответствии с удельным  $I_{y\partial,1}$  током данной линии

$$L_{O1} = I_{c1.2} / I_{y\partial,1} = I_{Л1,2}, \quad (13)$$

и на индикаторе И1 поврежденной линии будет отображаться расстояние от конца линии до места повреждения.

Выводы.

- 1 Устройство по предложенному алгоритму определяет поврежденное присоединение.
- 2 Для сетей с изолированной нейтралью устройство вычисляет место ОЗЗ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Шалыт, Г.М. Определение мест повреждения линий электропередачи по параметрам аварийного режима / Г.М. Шалыт, А.И. Айзенфельд, А.С. Малый. -М.: Энергоатомиздат,

1983. -208 с.

2 Арцишевский, Я.Л. Определение мест повреждений линий электропередачи в сетях с изолированной нейтралью / Я.Л. Арцишевский. -М.: Высш. шк., 1989. -87 с.

3 Пат. 2174690 Российская Федерация, МПК G01R 31/08, 3/38. Способ определения поврежденного присоединения и места однофазного замыкания в сети с изолированной нейтралью / Авданин В.В., Никитин К.И., Тупуреин В.Ю. -Заявл. 28.09.99; опубл. 10.10.01, Бюл. №28. -4 с.: ил.

4 Федосеев, А.М. Релейная защита электроэнергетических систем: учеб. для вузов / А.М. Федосеев, М.А. Федосеев. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1992. - 528 с.: ил.

5 Шуин, В.А. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6-10 кВ / В.А. Шуин, А.В. Гусенков. -М.: НТФ «Энергопрогресс», 2001. -104 с.: ил. (Библиотечка электротехника: прил. к журн. «Энергетик»; вып. 11(35).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** однофазное замыкание на землю, поврежденное присоединение, изолированная нейтраль, емкостный ток

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Никитин Константин Иванович, канд. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «ОмГТУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 644050, г. Омск, пр. Мира 11, ГОУ ВПО «ОмГТУ»

## **УСЛОВИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ СЕТЕЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ КАК РЕЦЕПТОРОВ**

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
«Инновационный Евразийский университет»  
ОАО «Газпром»

**С.М. Асосков, Ю.М. Денчик, Е.В. Иванова, Д.С. Кудряшов, Д.А. Шкитов**

**ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY CONDITION IN THE MIDDLE-VOLTAGE POWER GRID**

«Novosibirsk state academy of water transport»

«Innovation Eurasian university»

«Gasprom»

S.M. Asoskov, Yu.M. Denchik, E.V. Ivanova, D.S. Kudryashov D.A. Shkitov

Proof of the theorem about equivalence of the interference-suppressing devices multitude and conductive electromagnetic interferences multitude is offered.

*Keywords: electromagnetic compatibility, the parameter, set, theorem, the electric network, the phase, function*

Приведено доказательство теоремы об эквивалентности параметрических множеств помехоподавляющих технических средств и кондуктивных электромагнитных помех, обусловленных некачественной электроэнергией.

В последние годы опубликовано значительное количество работ по многогранной и саморазвивающейся проблеме электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств. Однако ряд вопросов, относящихся к ЭМС сетей различных классов напряжения ещё не рассмотрен. В частности, не эффективно используются возможности обеспечения ЭМС в сетях от 6 до 35 кВ как рецепторов за счёт подавления кондуктивных электромагнитных помех (ЭМП) по току замыкания фазы на землю.

Прежде, чем начать непосредственное рассмотрение путей обеспечения ЭМС технических средств путём подавления кондуктивных ЭМП, обусловленных некачественной электроэнергией, целесообразно ответить на следующий вопрос: теоретически возможно ли подавление всех кондуктивных ЭМП в сетях с искажающей нагрузкой?

Прежде всего отметим, что электромагнитная обстановка в сетях СЭС общего назначения определяется  $n$ -ым количеством стационарных случайных процессов, обусловленных нестандартными показателями качества электроэнергии (КЭ). Все эти случайные процессы формируют единый сложный электромагнитный процесс.

Исчерпывающая информация о таком сложном случайном процессе содержится в его многомерной интегральной функции распределения [1]

$$F_n(X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n; t_1, t_2, \dots, t_j, \dots, t_n) = P(X_1 \leq X_1, X_2 \leq X_2, \dots, X_j \leq X_j, \dots, X_n \leq X_n). \quad (1)$$

Эта функция характеризует вероятность того, что в момент времени  $t_i$  случайная величина  $X_i$  не превысит определённого своего значения.

Многомерная дифференциальная функция распределения вероятности определяется по формуле

$$P_n(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n; t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n) = \frac{\partial^n F_n}{\partial X_1 \partial X_2 \dots \partial X_i \dots \partial X_n} \quad (2)$$

Для нормализации сложного электромагнитного процесса в сетях общего назначения необходимо подавить кондуктивные ЭМП, распространяющиеся по сетям. Осуществить это можно путём применения специальных мер по помехозащищённости и по повышению помехоустойчивости СЭС. Под помехозащищённостью понимается способность ослаблять действия кондуктивных ЭМП за счёт специальных помехозащитных средств (ПЗС) не относящихся к принципу действия или построения СЭС. Помехоустойчивость (ПУ) означает способность электрической сети или системы сохранять заданное качество функционирования при воздействии кондуктивных ЭМП определённого уровня в отсутствие специальных ПЗС. Повышение ПУ достигается параметрическими изменениями некоторых элементов функциональных узлов СЭС для того, чтобы, помимо выполнения рабочих функций, эти элементы одновременно выполняли бы защитные функции [1, 2].

С точки зрения обеспечения ЭМС технических средств оснащение электроэнергетических систем ПЗС и повышение их ПУ выполняет одну и ту же функцию – обеспечения ЭМС путём подавления кондуктивных ЭМП до приемлемых уровней. Объединим их по этому признаку в один класс помехоподавляющих технических средств (ППТС). Параметры ППТС составляют множество

$$G_z = \{g_z^{(1)}, g_z^{(2)}, \dots, g_z^{(i)}, \dots, g_z^{(m)}\}, \quad (3)$$

где  $g_z^{(1)}, g_z^{(2)}, g_z^{(i)}, g_z^{(m)}$  – параметры ППТС;

$i$  – замкнутое множество параметров,  $i = \overline{1, m}$ ;

$$g_z^{(i)} \in G_z.$$

Кондуктивные ЭМП обладают стохастическими свойствами и порождаются превышением нормально и предельно допустимых значений показателей КЭ, установленных ГОСТ 13109-97. Параметры этих ЭМП составляют множество

$$G_k = \{g_k^{(1)}, g_k^{(2)}, \dots, g_k^{(i)}, \dots, g_k^{(m)}\}, \quad (4)$$

где  $g_k^{(1)}, g_k^{(2)}, g_k^{(i)}, g_k^{(m)}$  – параметры кондуктивных ЭМП по  $i$ -му показателю КЭ;

$$g_k^{(i)} \in G_k.$$

Следует заметить, что

$$G_k \subset \sum M, \quad (5)$$

где  $\sum M$  – множество параметров, отображающее общую ЭМО.

Несмотря на общность электромагнитных процессов, специфика образования различных ЭМП и возможности исследования случайных процессов обуславливают различные подходы к определению параметров ЭМО. Исследование ЭМО в электрических сетях напряжением выше 1000 В является трудоёмкой и опасной работой, требующей специальных средств измерений и подготовленного персонала. Выполнить такие исследования могут, практически, только специализированные институты и организации, так как имеют соответствующие наукоёмкие технологии.

Предположим, что априорно или на основании предварительных исследований известна многомерная интегральная функция распределения случайного процесса (1). На основании этих сведений можно составить некоторое множество ППТС  $G_z$  (3).

Тогда вопрос формулируется следующим образом: можно ли подавить кондуктивные ЭМП путём расчёта отдельных неслучайных параметров ЭМС и выбора необходимых ППТС? Для ответа на этот вопрос рассмотрим теорему об эквивалентности параметрических множеств ППТС и кондуктивных ЭМП в СЭС, обусловленных некачественной электроэнергией и распространяющихся по сетям.

**Теорема.** Если  $G_z$  и  $G_k$  являются некоторыми множествами параметров ППТС и кондуктивных ЭМП и  $G_z$  известно, то

$$\begin{cases} G_z = G'_k; \\ G'_k \subset G_k. \end{cases} \quad (6)$$

Доказательство. Множество  $G_z$  определяется характером ЭМО, определено на множестве  $\sum M$  непрерывных случайных процессов

$$G_z \subset \sum M. \quad (7)$$

Множество  $G_k$  по смыслу также определено на множестве  $\sum M$  (5), так как непосредственно отражает характер ЭМО. Поэтому допускаем, что оба множества ( $G_z$  и  $G_k$ ) определены на множестве параметров  $\sum M$ . Поскольку процесс реакции ППТС на ЭМО происходит в параметрическом единстве, можно использовать биекцию (взаимно однозначное отображение). Это позволяет представить новое множество

$$G'_k = \{g_{k,\Pi}^{(1)}, g_{k,\Pi}^{(2)}, \dots, g_{k,\Pi}^{(i)}, \dots, g_{k,\Pi}^{(n)}\}, \quad (8)$$

где  $g_{k,\Pi}^{(1)}, g_{k,\Pi}^{(2)}, g_{k,\Pi}^{(i)}, g_{k,\Pi}^{(n)}$  – параметры кондуктивных ЭМП из множества  $G_k$  (4), которые взаимно однозначно отображают параметры ППТС (3),

$$g_z^{(i)} \leftrightarrow g_{k,\Pi}^{(i)}; \quad (9)$$

$i$  – замкнутое множество,  $i = \overline{1, n}$ ;

$$G'_k \subset \sum M. \quad (10)$$

Учитывая математические выражения (5), (6), (10) и механизм образования  $G'_k$ , можем записать

$$G_z = G'_k \leftrightarrow \forall g_{k,\Pi}^{(i)} (g_z^{(i)} \in G_z \leftrightarrow g_{k,\Pi}^{(i)} \in G'_k). \quad (11)$$

В то же время множество  $G'_k$  является подмножеством множества  $G_k$ , так как образуется путём отбора отдельных значений  $g_{k,\Pi}^{(i)}$  множества  $G_k$  (4), то есть содержится в множестве  $G_k$

$$G'_k \subset G_k. \quad (12)$$

Теорема доказана.

Важнейшим следствием теоремы об эквивалентности параметрических пространств ППТС и кондуктивных ЭМП является получение списка конкретных параметров  $g_{k,\Pi}^{(i)}$  многомерной интегральной функции распределения вероятности, необходимых для расчётов параметров ППТС. Очевидна цель получения параметров кондуктивных ЭМП – обеспечить ЭМС технических средств. Теорема даёт основание предположить, что одним из эффективных методов получения множества  $G_z$  (3) является регрессионный анализ, позволяющий из множества  $\sum M$  выделить значимые параметры  $g_z^{(1)}, g_z^{(2)}, g_z^{(i)}, g_z^{(n)}$ .

Таким образом, доказана с помощью теоремы об эквивалентности параметрических множеств возможность подавления кондуктивных электромагнитных помех в едином параметрическом пространстве с помехоподавляющими техническими средствами; определен методический подход к разработке концепции обеспечения ЭМС технических средств путём подавления кондуктивных ЭМП, обусловленных некачественной электроэнергией.

Основными положениями этой концепции являются [1]:

- определение с нужным приближением законов и параметров распределения кондуктивных ЭМП;
- нахождение вероятностей появления кондуктивных ЭМП;
- оценка опасности кондуктивных ЭМП;
- выбор и разработка технических решений, обеспечивающих подавления кондуктивных ЭМП.

Расчётное обеспечение этой концепции, в общем случае, основывается на аналитических методах исследования и численных, выполняемых с помощью компьютеров [1].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Е.В. Иванова; под ред. В.П. Горелова, Н.Н. Лизалека. -Новосибирск: Новосиб. гос.

акад. вод. трансп., 2006. -432 с.

2 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электрических сетях 6-10 кВ / Е.В. Иванова, А.А. Руппель; под ред. В.П. Горелова. -Омск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2004. -284 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электромагнитная совместимость, параметр, множество, теорема, электрическая сеть, фаза, функция

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Асосков Сергей Михайлович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Денчик Юлия Михайловна, докторант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Иванова Елена Васильевна, докт. техн. наук, профессор «ИНЕУ»  
Кудряшов Дмитрий Семенович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Шкитов Денис Александрович, главный технолог управления энергетики ОАО «Газпром»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
140003, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 45, «ИНЕУ»  
117997, Москва, ГСП-7, ул. Наметкина, 16, ОАО «Газпром»

## ПОДЪЕМ КОНТАКТНЫХ ПРОВОДОВ ТОКОПРИЕМНИКОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ ВЕТРОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ТОКОСЪЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА

ООО «Транскомплектэнерго»

**Г.Ю. Севастьянов**

**LIFTING OF TROLLEY WIRES BY THE CURRENT COLLECTOR OF AN ELECTRIC VEHICLE UNDER IMPACT OF WIND ON CURRENT-COLLECTING DEVICES**

«Transkomplektenergo»  
G.Yu. Sevastyanov

It has been demonstrated that the height of trolley wire lifting by the current collector at the travel speed up to 110 km/h does not exceed 50-55mm. However, with the wind of 25 m/s and travel speed of 120 km/h it comes to 240 mm, which does not ensure safe current collection. Under these conditions, it is recommended to use no more than two current collectors or to reduce speed.

*Keywords: catenary, current collector, current collection, lifting of wires, wind*

Показано, что подъем контактных проводов токоприемником при скоростях движения до 110 км/ч не превышает 50-55 мм. Однако при ветре 25 м/с и скорости движения 120 км/ч он составляет до 240 мм что не обеспечивает безопасный токосъем. Рекомендуется в этих условиях использовать не более двух токоприемников или снижать скорость движения.

При электрической тяге в процессе взаимодействия токосъемных устройств происходит подъем контактных проводов, величину которого при статическом нажатии токоприемника определяют [1] по приведенным ниже формулам (рисунок 1).

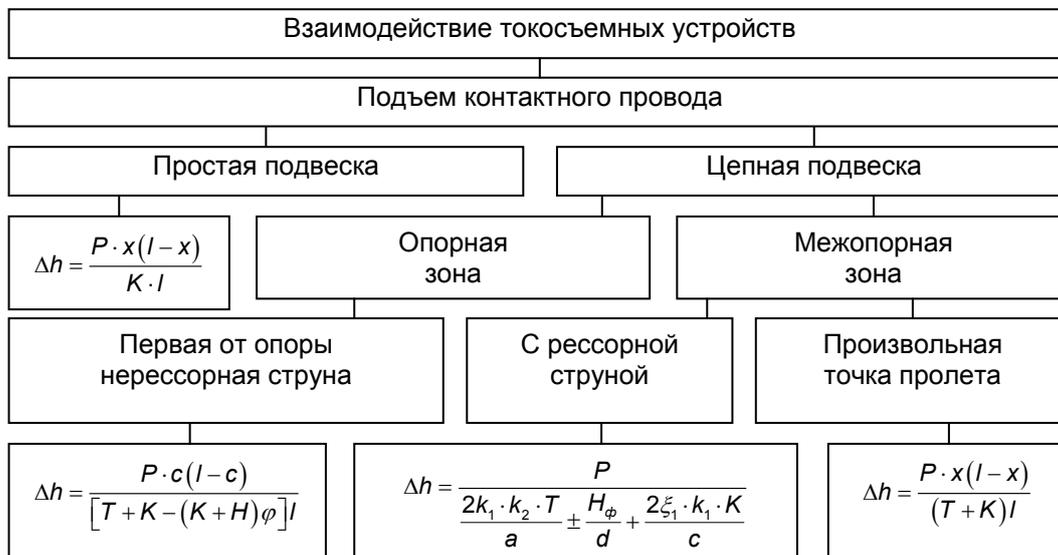


Рисунок 1 – Основные формулы для расчета подъема контактных проводов при статическом нажатии токоприемника

В формулах приняты следующие обозначения:

- $\Delta h$  – подъем контактных проводов, м;
- $P$  – сила нажатия токоприемника на контактный провод, даН;
- $x$  – расстояние от опоры до места приложения силы  $P$ , м;
- $l$  – длина пролета, м;
- $K$  – натяжение контактного провода, даН;
- $T$  – натяжение несущего троса, даН;
- $c$  – расстояние от опоры до первой нерессорной струны, м;
- $d$  – расстояние по горизонтали от фиксирующего зажима до шарнира фиксатора, м;
- $a$  – расстояние от опоры до точки крепления вспомогательного троса, м;
- $\varphi$  – конструктивный коэффициент цепной контактной подвески;
- $\xi_1$  – коэффициент, учитывающий соотношение длины пролета и натяжения контактного провода при различной температуре окружающей среды;
- $k_1, k_2$  – коэффициенты, учитывающие геометрические показатели рессорной струны.

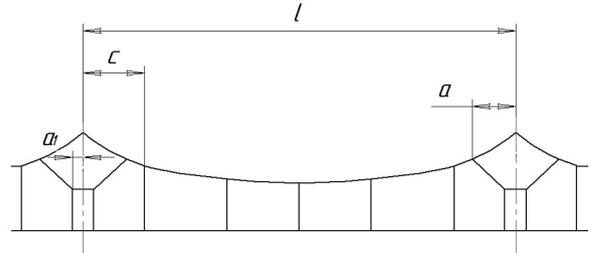


Рисунок 2 – Принятая схема пролета контактной подвески при расчете подъема контактных проводов токоприемником

Расчет подъема контактных проводов токоприемником в опорной зоне выполнен для полукомпенсированных контактных подвесок с составом проводов М120+2МФ100 и ПБСМ95+МФ100, различных длин пролетов и температуры окружающей среды. Схема пролета показана на рисунке 2.

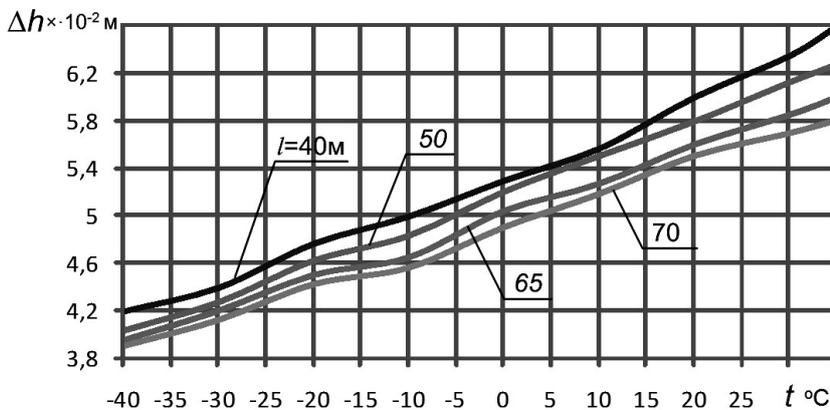


Рисунок 3 – Подъем контактных проводов при статическом нажатии токоприемника в опорной зоне подвески М120+2МФ100

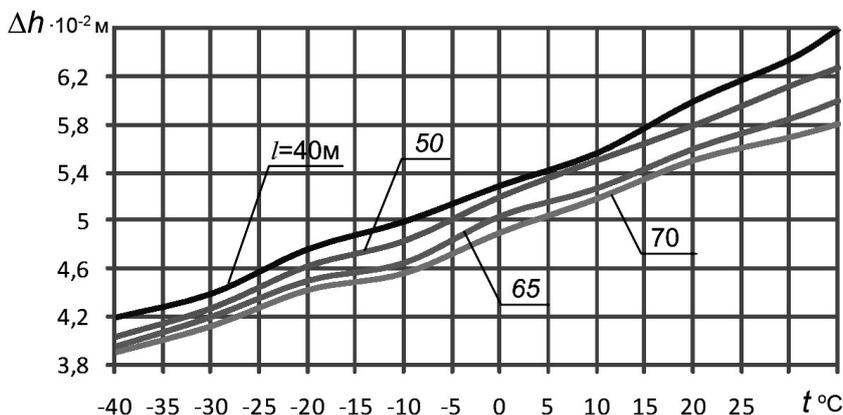


Рисунок 4 – Подъем контактных проводов при статическом нажатии токоприемника в опорной зоне подвески ПБСМ95+МФ100

Результаты расчета позволяют отметить следующее.

Контактная подвеска М120+2МФ100 (рисунок 3). Наибольший подъем контактных проводов получен в пролете наименьшей длины.

Например, в пролете длиной 40 м максимальный подъем контактного провода токоприемником при температуре +35 °С составляет  $6 \cdot 10^{-2}$  м. Во всех случаях при снижении температуры окружающей среды он уменьшается (рисунок 3).

Контактная подвеска ПБСМ95+МФ100 (рисунок 4). Наблюдается аналогичная картина. Однако контактный провод поднимается на большую величину в любых условиях. Например, в пролете длиной 40 м максимальный его подъем токоприемником при температуре +35 °С по-

лучен  $6,6 \cdot 10^{-2}$  м, а при длине 70 м –  $5,8 \cdot 10^{-2}$  м. При отрицательной температуре ( $-40$ ) °С этот подъем составляет в пролете 40 м  $4,2 \cdot 10^{-2}$  м, в то время как при 70 м он не превышает  $3,9 \cdot 10^{-2}$  м (рисунок 4).

Результаты расчета токосъема контактных проводов при динамическом воздействии токоприемника на контактную подвеску, приведенные в [2], показывают, что при скоростях движения до 100-110 км/ч его величина близка к подъему при статическом нажатии.

Экспериментальные исследования проводились на Западно-Сибирской железной дороге. Для этого были выбраны участки, где контактная подвеска имела такой же состав проводов, какой принимался при расчетах.

Регистрация подъема контактных проводов осуществлялась при проходе токоприемников всех локомотивов, которые обращались на испытательных участках. В качестве оборудования, обеспечивающего регистрацию перемещений контактных проводов, использовались механические датчики. Метеоданные контролировались при помощи передвижной метеолaborатории.

На участках постоянного тока обращались электровозы с токоприемниками Т5 и 10(17)РР, а переменного – Л1.

В качестве примера рассмотрим пролет длиной 65 м. Контактная подвеска М120+2МФ100. Средний подъем контактных проводов при проходе токоприемника Т5, составил  $4,2 \cdot 10^{-2}$  м, токоприемника 10(17)РР –  $5,0 \cdot 10^{-2}$  м, а максимальный не превышал  $5,5 \cdot 10^{-2}$  м. Указанные величины зарегистрированы при температуре  $+10$  °С, скоростях движения токоприемников Т5 – 65 км/ч, 10(17)РР – 100 км/ч и ветра 2 м/с. Статическое нажатие токоприемника составляло 100 Н.

Контактная подвеска ПБСМ95+МФ100. Средний подъем контактного провода при проходе токоприемника Л1 составил  $5,1 \cdot 10^{-2}$  м, а максимальный не превышал  $5,9 \cdot 10^{-2}$  м. Указанные величины зарегистрированы при температуре  $+10$  °С, скоростях движения 65 км/ч и ветра 2 м/с. Статическое нажатие токоприемника составляло 90 Н.

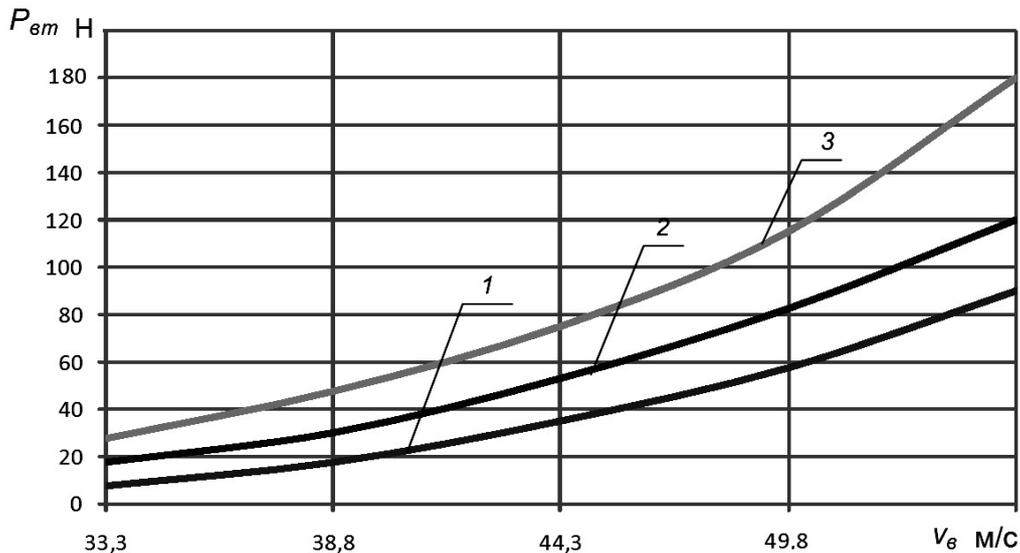


Рисунок 5 – Аэродинамическая характеристика токоприемника 10(17)РР при угле атаки: 1-  $\alpha = 0$  ; 2-  $\alpha = 1$  ; 3-  $\alpha = 3$

Таким образом, результаты расчета и экспериментальные данные показывают, что средний подъем контактных проводов при взаимодействии токосъемных устройств составляет  $(5,0-5,5) \cdot 10^{-2}$  м. Это обеспечивает безопасный проход токоприемника в подопорной зоне при указанных скоростях движения.

В условиях ветрового воздействия на токосъемные устройства подъем контактных проводов токоприемником возрастает вследствие увеличения нажатия токоприемника на контактную подвеску за счет его аэродинамических сил. Одновременно при этом происходят их ветровые вертикальные и горизонтальные перемещения [3].

В качестве примера на рисунке 5 приведена аэродинамическая характеристика токоприемника 10(17)РР.

Из приведенных данных следует, что при встречном ветре 25 м/с, скорости движения

120 км/ч (33,3 м/с) и  $\alpha = 1^\circ$  дополнительное нажатие заднего по ходу токоприемника равно 120 Н. В этих условиях подъем двух контактных проводов составляет  $23 \cdot 10^{-2}$  м, а одного –  $27 \cdot 10^{-2}$  м.

Современный электровоз имеет до четырех токоприемников, которые формально могут работать одновременно. Однако обеспечить надежный и экономичный токосъем при их совместной работе не всегда представляется возможным из-за подъема контактных проводов, превышающего допустимые значения.

Если исходить из приведенных выше данных, то при скорости 120 км/ч и ветре 25 м/с одновременно могут работать два токоприемника. При необходимости поднять их большее число следует снижать скорость движения поезда.

Таким образом, подъем контактных проводов токоприемником зависит от условий взаимодействия токосъемных устройств и на участках, где скорости движения не превышают 120 км/ч, составляет  $(4,0-4,5) \cdot 10^{-2}$  м для двух,  $(5,0-5,5) \cdot 10^{-2}$  м для одного контактного провода и возрастает при ветровом воздействии на токосъемные устройства. Вследствие этого при скорости движения 120 км/ч и ветре 25 м/с работа на трех и более токоприемниках должна быть запрещена.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Михеев, В.П. Контактные сети и линии электропередачи / В.П. Михеев. -М.: Маршрут, 2003. -416 с.

2 Ефимов, А.В. Динамический расчет отжатия проводов цепной подвески / А.В. Ефимов, А.Г. Галкин, В.В. Веселов // Особенности проектирования токосъемных устройств высокоскоростного экологически чистого транспорта: межвуз. темат. сб. науч. тр. / Омск. гос. ун-т путей сообщения. -Омск. -С. 60-63.

3 Маслов, Г.П. Выбор длин пролетов в анкерном участке полукомпенсированной контактной подвески магистральных электрических железных дорог / Г.П. Маслов, В.В. Свешников, Г.Ю. Севастьянов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. - Новосибирск, 2010. -№1. -С. 266-268.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *контактная подвеска, токоприемник, токосъем, подъем проводов, ветер*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Севастьянов Георгий Юрьевич, начальник управления ООО «Транскомплектэнерго»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630004, г. Новосибирск, пр. Комсомольский, 1, корп. 2, ООО «Транскомплектэнерго»*

## **ИСКЛЮЧЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ НЕПОЛНОФАЗНЫХ РЕЖИМАХ В ЧЕТЫРЁХФАЗНЫХ ЛИНИЯХ С ПОМОЩЬЮ КОМБИНИРОВАННОЙ КОМПЕНСАЦИИ**

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

**Т.Г. Красильникова**

### **EXCEPTION OF RESONANCE OVERVOLTAGES AT OPEN-PHASE MODES BY MEANS OF COMBINED SHUNT COMPENSATION IN 4-PHASE EHV LINES**

«Novosibirsk state technical university»  
T.G. Krasilnikova

Use of the Combined Shunt Compensation allows to exclude resonance overvoltage at open-phase modes at any number of the traditional shunting reactors connected to a line and by that to remove restriction on number of the shunting reactors connected to a line at its planned and emergency commutations, taking place at traditional Compensation.

*Keywords: 4-phase EHV line, combined shunt compensation, resonance overvoltage, open-phase modes*

Использование комбинированной компенсации позволяет исключить резонансные перенапряжения при неполнофазных режимах, при любом числе подключенных к линии традиционных шунтирующих реакторов и тем самым снять ограничение на число подключенных к линии шунтирующих реакторов при её плановых и аварийных коммутациях, имеющее место при традиционной компенсации.

Для решения проблемы передачи больших потоков мощности на дальние и сверхдальние расстояния целесообразен переход к четырёхфазной системе переменного тока, по-

сколькo она позволяет существенно улучшить технико-экономические, надёжностные и экологические показатели электропередач [1].

Наиболее эффективная область использования четырёхфазных воздушных линий (ЧВЛ) связана с замещением трёхфазных линий высокого и сверхвысокого напряжения, подключаемых к узловым пунктам сети с помощью автотрансформаторов. Фазопреобразующие трансформаторы, которые одновременно осуществляют повышение напряжения на линии до экономически необходимого уровня, являются новым оборудованием для четырехфазной электропередачи. Все остальное оборудование в силу однофазного исполнения идентично для трехфазных и четырехфазных электропередач и отличается лишь количеством фазных элементов.

Компенсация поперечных емкостных параметров линий сверхвысокого напряжения СВН, в том числе и четырёхфазных, осуществляется с помощью шунтирующих реакторов [2], устанавливаемых по концам линии (рисунок 1). Шунтирующие реакторы (ШР), которыми оснащены электропередачи СВН, в общем случае выполняют три важнейшие функции, а именно, компенсацию зарядной мощности в нормальных режимах, ограничение внутренних перенапряжений при вводе линии в работу и в аварийных режимах, а также снижение токов дуги подпитки для осуществления успешного ОАПВ при ликвидации наиболее вероятных однофазных дуговых КЗ [3]. Для решения последней задачи ШР дополняется компенсационным реактором, устанавливаемым в нейтрали [4]. В нормальных режимах этот реактор зашунтирован выключателем, и вводится в работу в режиме паузы ОАПВ.



Рисунок 1 – Традиционная поперечная компенсация в четырёхфазной линии

Традиционной поперечной компенсации присущи, по крайней мере, три недостатка. Первый недостаток состоит в возможности появления резонансных повышений напряжения в неполнофазных режимах, что накладывает ограничение на число подключенных к линии ШР при её плановых и аварийных коммутациях [3].

Второй недостаток связан с необходимостью коммутации реакторных выключателей для введения в работу всех шунтирующих реакторов в паузу ОАПВ для обеспечения условий гашения дуги подпитки, поскольку в нормальных режимах при передаче значительных мощностей шунтирующие реакторы, как правило, отключены от линии электропередачи реакторными выключателями по условиям режима напряжений. При этом отказ любой фазы одного из выключателей приводит к невозможности проведения ОАПВ, что усугубляет аварийную ситуацию и тем самым снижает надежность работы.

Третий недостаток состоит в том, что подключение шунтирующих реакторов при осуществлении ОАПВ приводит к понижению напряжения на шинах и соответственно снижает пропускную способность электропередачи по условию динамической устойчивости.

Указанные недостатки традиционной схемы компенсации предлагается исключить за счет комбинированной поперечной компенсации (рисунок 2), суть которой состоит в использовании незаземлённых шунтирующих реакторов, подключаемых по концам линии по схеме звезды с незаземлённой нейтралью [5].

В дальнейшем традиционный ШР, нейтраль которого заземлена, будем обозначать как ШР- $Y_0$ , а предлагаемый ШР с незаземленной нейтралью как ШР- $Y$ . Мощность незаземлённого реактора ШР- $Y$  составляет ориентировочно 25% от мощности основного ШР- $Y_0$ .

Параметры незаземлённых реакторов ШР- $Y$  обеспечивают компенсацию межфазовых емкостей линии. В результате в цикле ОАПВ отпадает необходимость в использовании компенсационных реакторов. А для снижения тока дуги подпитки в паузу ОАПВ достаточно подключения лишь одной фазы ШР- $Y_0$ , одноименной с фазой, на которой произошло КЗ, в силу

чего уровень напряжения на здоровых фазах не снижается.

В предлагаемой схеме компенсации исключается также возможность возникновения резонансных повышений напряжения в неполнофазных режимах. При неполнофазных включениях и отключениях линий с подключенными к ней традиционными шунтирующими реакторами ШР- $Y_0$ , что имеет место при отказах или больших разбросах в коммутации фаз выключателей, возможно появление резонансных перенапряжений на невключённых фазах.

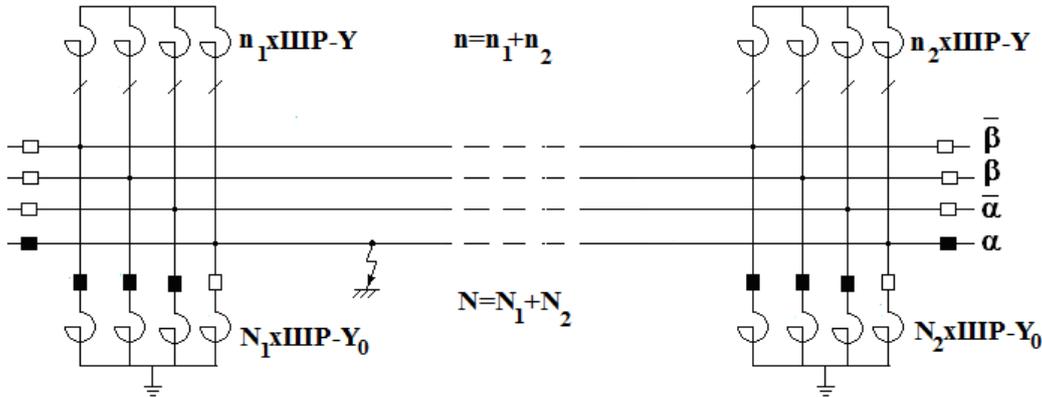


Рисунок 2 – Комбинированная поперечная компенсация в четырёхфазной линии

На рисунке 3 приведены резонансные зоны при различных неполнофазных режимах (подключены одна, две, три фазы) для линий напряжением 750 кВ в зависимости от их длины и числа подключенных ШР- $Y_0$ . Как правило, при числе реакторов, требуемых по условию частичной или полной компенсации зарядной мощности линии, возможно появление резонансных перенапряжений.

Данное обстоятельство вносит нежелательное ограничение на число подключаемых шунтирующих реакторов ШР- $Y_0$  к линии, особенно при аварийных коммутациях, когда

с точки зрения ограничения перенапряжений или осуществления ОАПВ требуется определенное число подключенных к линии шунтирующих реакторов ШР- $Y_0$ , которое неприемлемо по условию возникновения резонансных перенапряжений в неполнофазных режимах.

Оснащение линий незаземлёнными реакторами ШР- $Y$  позволяет создать безрезонансные зоны при любом числе подключенных к линии традиционных шунтирующих реакторов ШР- $Y_0$ . На рисунке 4 показаны безрезонансные зоны для случая оснащения ЧВЛ 750 кВ незаземлёнными реакторами ШР- $Y$  при различных неполнофазных режимах (подключены одна, две, три фазы).

Как видно из рисунка 4, в общем случае при заданной длине линии всегда может быть определено необходимое число незаземлённых реакторов ШР- $Y$ , так чтобы исключить резонансные явления при любом числе подключенных традиционных шунтирующих реакторов ШР- $Y_0$ .

Выводы:

1 Предлагается комбинированная поперечная компенсация ЧВЛ СВН, содержащая помимо традиционных шунтирующих реакторов ШР- $Y_0$ , подключенных к линии реакторными

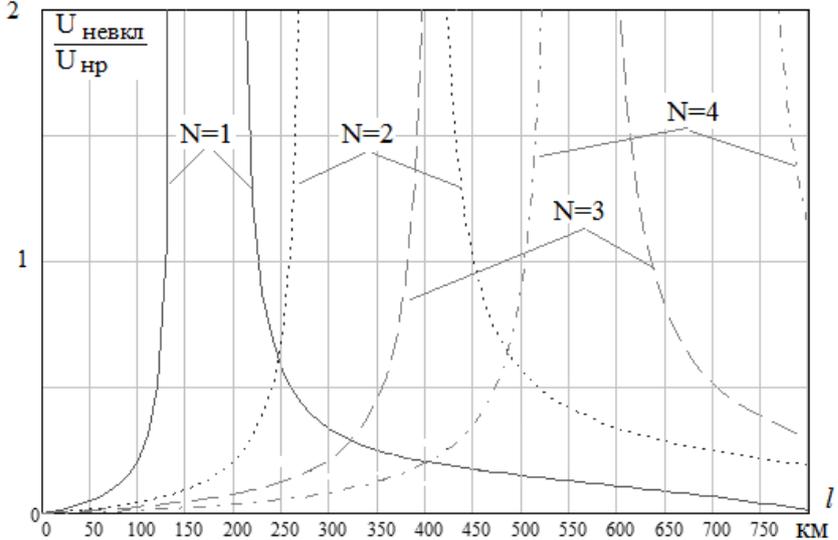


Рисунок 3 – Напряжение на неподключённых фазах линии в режиме неполнофазного питания ЧВЛ 750 кВ

выключателями, также постоянно подсоединенные незаземленные реакторы ШР-У по схеме звезды с незаземленной нейтралью. Мощность незаземленного реактора ШР-У рекомендуется принять равной примерно 25% от мощности традиционного шунтирующего реактора ШР-У<sub>0</sub>.

2 Использование комбинированной компенсации позволяет исключить резонансные перенапряжения при неполнофазных режимах при любом числе подключенных к линии традиционных шунтирующих реакторов ШР-У<sub>0</sub> и тем самым снять ограничение на число подключенных к линии шунтирующих реакторов ШР-У<sub>0</sub> при её плановых и аварийных коммутациях, имеющее место при традиционной компенсации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Самородов, Г.И. Четырехфазные электропередачи / Г.И. Самородов / Изв. Рос. акад. наук. Сер. Энергетика. -1995. - Вып.6. -С. 101-109.

2 Мельников, Н.А. Проектирование электрической части воздушных линий электропередачи 330-500 кВ / Н.А. Мельников, С.С. Рокотян, А.Н. Шеренцис. -М.: Энергия, 1974.

3 Проектирование линий электропередачи сверхвысокого напряжения / под ред. Г.Н. Александрова. -Л.: Энергоатомиздат, 1993. -560 с.

4 Беляков, Н.Н. Использование компенсационных реакторов для облегчения условий ОАПВ на высоковольтных линиях / Н.Н. Беляков, В.С. Рашкес, С.Н. Рожавская // Электр. станции. -1975. -№12. -С. 68-72.

5 Пат. 2351050 Российская Федерация. Устройство поперечной компенсации для линии электропередачи / Зильберман С. М., Красильникова Т.Г., Самородов Г.И. -Опубл. 2009, Бюл. №9.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

4-фазная линия СВН, комбинированная компенсация, резонансные перенапряжения, неполнофазные режимы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:  
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

Красильникова Татьяна Германовна, канд. техн. наук, ст. преподаватель ГОУ ВПО «НГТУ»  
630093, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

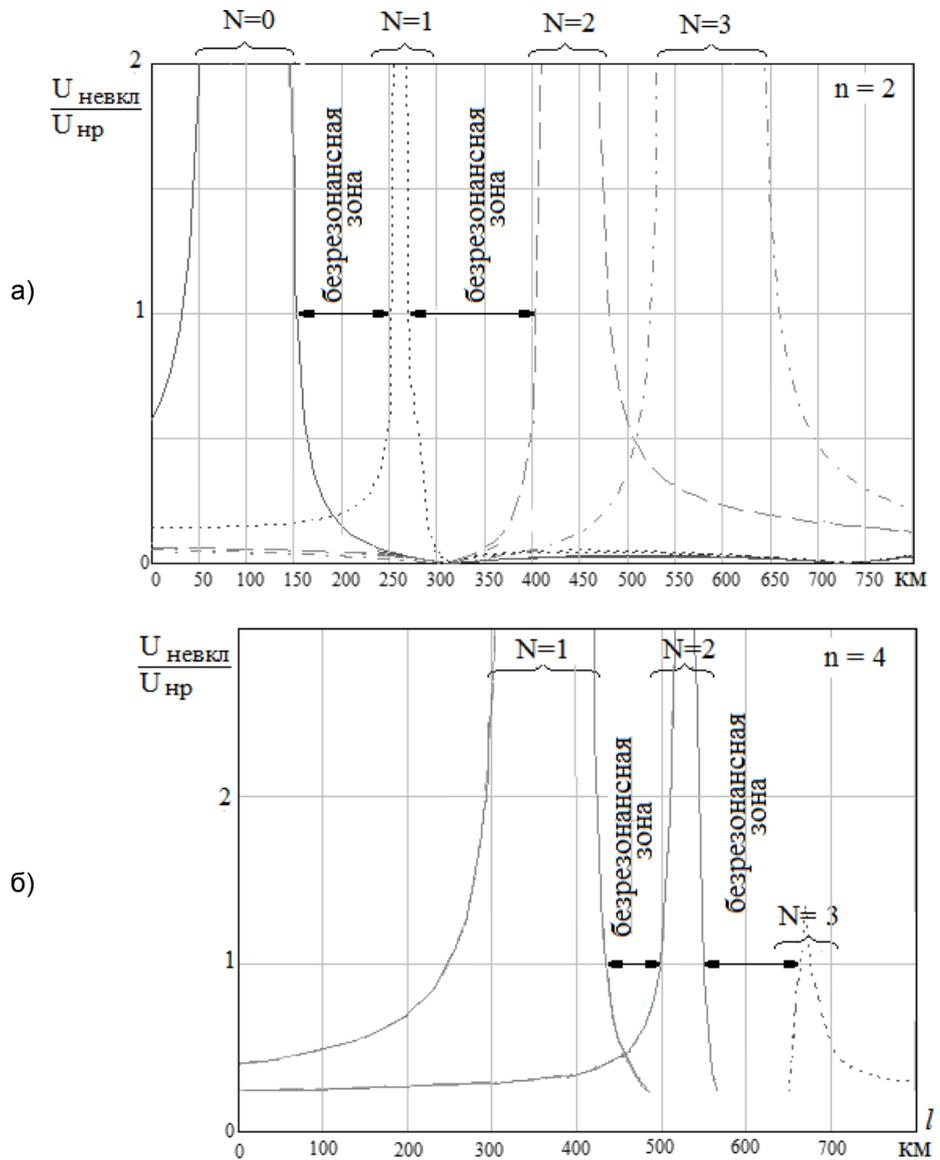


Рисунок 4 – Создание безрезонансных зон для ЧВЛ 750 кВ: а-использование двух незаземленных реакторов; б-использование четырех незаземленных реакторов

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ УПРУГИХ КЛЕММ КН

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей  
сообщения»

В.М. Тихомиров, Д.В. Величко, К.Ю. Лыков

## RESEARCH OF PARAMETERS OF WORK RAIL CLIP KH

«Siberian state transport university»

V.M. Tikhomirov, D.V. Velichko, K.Yu. Lykov

Researches of power interaction of elements are conducted fastening KH in this work. The experimental technique direct of effort of pressing of the plug and a tension of a mortgage bolt is developed. Dependences are received efforts of pressing from the moment of an inhaling of a nut for fastenings KH and KB.

Keywords: rail fastening, rails, railway track, rail clip, resistance to longitudinal displacement

Проведены исследования силового взаимодействия элементов скрепления КН. Разработана экспериментальная методика измерения усилия прижатия клеммы и натяжения закладного болта. Получены зависимости усилий прижатия от момента затяжки гайки для скреплений КН и КБ.

Типовым промежуточным скреплением для российских железных дорог пока является раздельное подкладочное скрепление КБ-65 – 83% скреплений для железобетонных шпал. Это скрепление обладает известными достоинствами, однако для обеспечения большей технико-экономической эффективности содержания пути взамен его повсеместно внедряются новые скрепления с упругими прутковыми клеммами. На Западно-Сибирской железной дороге прямой заменой скрепления КБ считается подкладочное скрепление с упругими клеммами КН-65 [1; 2].

Представляет интерес сравнение скреплений КБ и КН по одному из наиболее важных параметров работы раздельного скрепления – усилие прижатия клеммы на рельс. Это усилие обеспечивает необходимое продольное сопротивление смещению рельсовой плети и связано с уровнем натяжения болта.

*Экспериментальное определение усилий прижатия клеммы скрепления к подошве рельса.* Для выявления особенностей механического взаимодействия элементов раздельного скрепления был разработан экспериментальный способ измерения усилия прижатия клеммы к подошве рельса. Методика измерения заключалась в сравнении вертикальных перемещений подошвы рельса, возникающих при двух разных видах нагрузки: первая – нагрузка, приложенная к головке рельса, вторая – нагрузка, которую передают две противоположные клеммы на подошву рельса – жесткие (КБ-65) или прутковые упругие (КН-65).

При нагружении рельса по первой схеме измерялись вертикальные перемещения подошвы рельса относительно металлической прокладки, которые были обусловлены только деформацией сжатия резиновой подрельсовой прокладки. Была получена тарировочная зависимость вертикального перемещения подошвы  $\delta$  (мм) от нагрузки на рельс  $F$  (кН) и аппроксимирована следующим степенным полиномом

$$F = 45,1\delta^{1,64} + 23,6\delta^{6,52}. \quad (1)$$

По второй схеме нагрузка на подошву создавалась натяжением закладных болтов, установленных по обе стороны рельса. Для корректного сравнения перемещений от нагрузок по двум разным схемам нагружения крутящий момент на гайках варьировались таким образом, чтобы подошва перемещалась параллельно подкладке. Перемещение подошвы устанавливалось в диапазоне 0,1–0,6 мм с шагом 0,05 мм и на каждом шаге испытаний (при фиксированном перемещении подошвы) измерялся крутящий момент на гайках закладных болтов.

На скреплениях обоих типов при крутящих моментах  $0 \leq M_{кр} \leq 80$  Н·м получены сравнимые результаты (рисунок 1). При увеличении момента затяжки более 80 Н·м усилие прижатия прутковых клемм (КН-65) оказалось меньше, чем при использовании КБ-65.

Для выяснения причин такого различия были проведены дополнительные экспериментальные исследования взаимодействия элементов скрепления КН-65. С этой целью при проведении испытаний одновременно с фиксацией усилий прижатий клеммы на подошву рельса  $P$  и соответствующих им крутящих моментов затяжки гайки дополнительно измерялось усилие натяжения закладного болта  $N$ .

*Анализ взаимодействия рабочих элементов скрепления с прутковыми клеммами. Уси-*

лие натяжения определялось методом тензометрии. На закладной болт наклеивались тензодатчики и тарировался на механической испытательной машины.

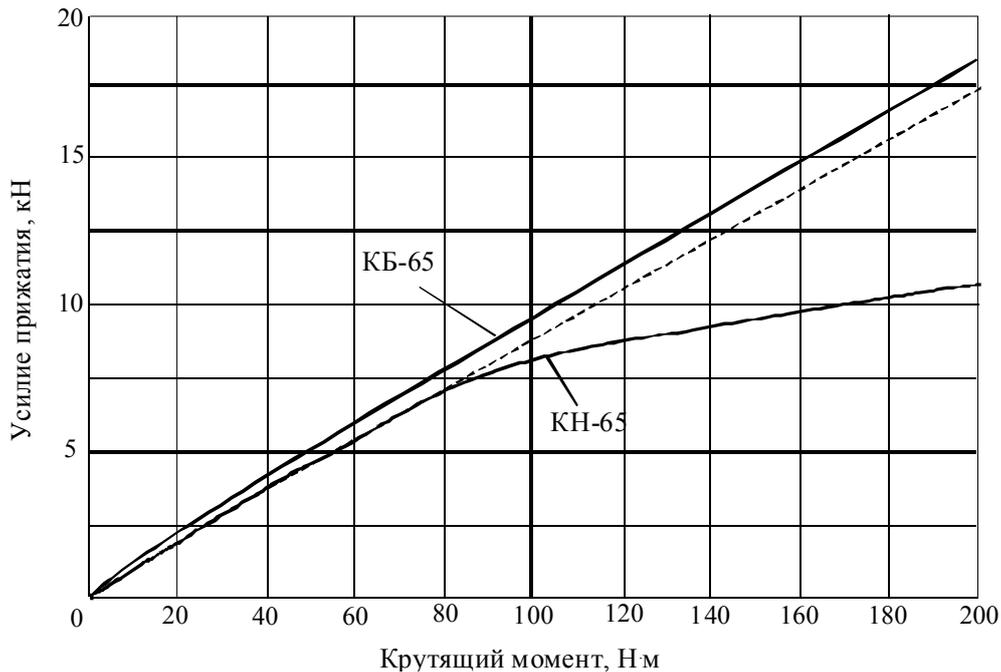


Рисунок 1 – Усилие прижатия клеммы к подошве рельса

Закладные болты, оснащенные тензометрической системой, устанавливались в специально изготовленный блок, моделирующий фрагмент железобетонной шпалы. Далее при фиксированном перемещении подошвы рельса снимались показания тензодатчиков определялась соответствующее усилие натяжения болта. Результаты измерений представлены в таблице, здесь также приведены расчетные усилия прижатия клеммы в соответствии с зависимостью (1).

Таблица – Параметры силового взаимодействия

Перемещение подошвы рельса $\delta$ , мм	Момент затяжки $M_{кр}$ , Н·м	Показания тензодатчиков $t$ , ед.	Усилие натяжения болта $N$ , кН	Усилие прижатие клеммы $P$ , кН	Расстояние $a$ , мм
0,17	22	1,8	3,0	1,7	46
0,28	29	3,0	5,0	2,8	48
0,34	42	4,0	6,6	3,8	47
0,43	62	6,5	10,7	5,7	51
0,49	81	9,0	14,9	7,0	58
0,53	100	10,0	16,5	8,1	56
0,55	118	13,0	21,5	8,8	65
0,60	162	14,5	24,0	9,9	65

Для анализа полученных результатов рассмотрим, как прутковая клемма взаимодействует с другими элементами скрепления. Схема основных усилий, показана на рисунке 2. Гайка, болт, скоба и упругая клемма, имеют сложную взаимную пространственную ориентацию, которая меняется при изменении усилий натяжения и деформации клеммы, поэтому положение равнодействующей давления скобы на клемму  $R_k$  неизвестно.

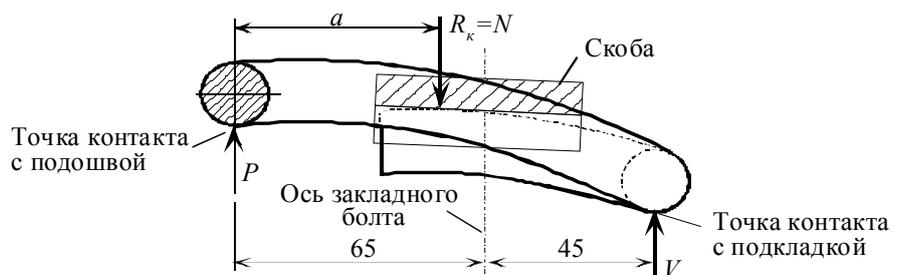


Рисунок 2 – Схема усилий, действующих на прутковую клемму

положение равнодействующей давления скобы на клемму  $R_k$  неизвестно.

В результате наклонного положения усов упругой клеммы опорная скоба также расположена под некоторым углом к опорной поверхности гайки. При закручивании гайки кроме вертикального давления  $R_e$  создается боковое усилие  $H$  (рисунок 3), под действием которого болт с гайкой перемещается и прижимается к

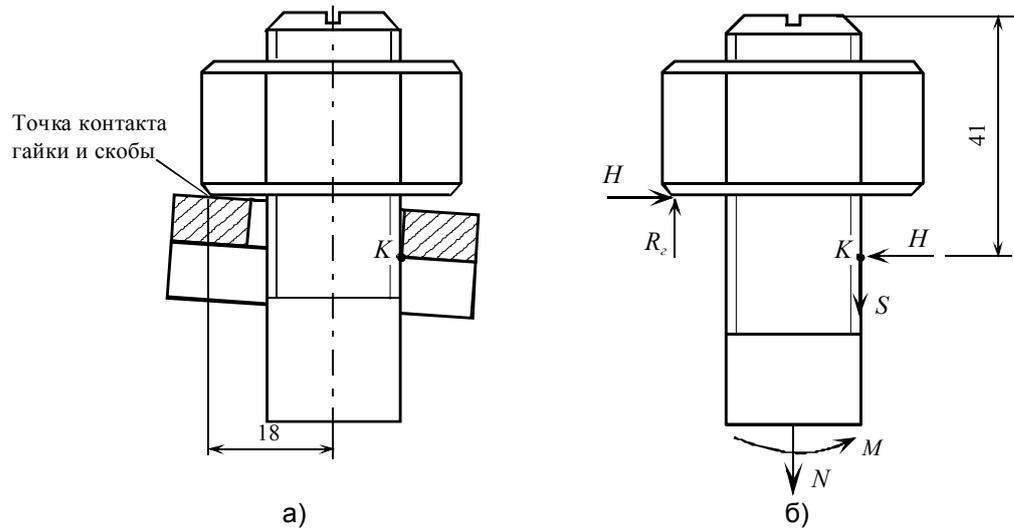


Рисунок 3 – Схема взаимодействия опорной скобы и узла гайка-болт: а)- геометрия взаимодействия; б)-схема усилий

опорной скобе в точке  $K$ . При увеличении крутящего момента на болт действует возрастающее боковое усилие  $H$ . Контакт скобы и болта начинает препятствовать их взаимному смещению. В результате возникает также касательное усилие  $S$ , которое уменьшает давление скобы на клемму и увеличивает изгибную деформацию болта.

Представленные схемы взаимодействия рабочих элементов скрепления позволяют сделать следующие выводы:

– нагрузка, которая передается со стороны опорной скобы на клемму, равна измеренному усилию натяжения болта

$$R_k = N = R_e - S; \quad (2)$$

– по величине усилий  $P$  и  $N$  можно определить действительное положение равнодействующей  $R_k$

$$a = 110 \left( 1 - \frac{P}{N} \right). \quad (3)$$

Результаты расчета положения усилия  $R_k$  представлены в таблице. Можно отметить, что при малых значениях  $N$  (до 6,6 кН) равнодействующая практически совпадает с точкой контакта гайки и опорной скобы (см. рисунок 3). Увеличение натяжения болта приводит к росту касательного усилия  $S$  и вызывает поворот опорной скобы. Как следствие усилие  $R_k$  смещается в сторону оси болта.

Контакт болта и скобы в соответствии с выражением (3) уменьшает давление  $R_k$  на величину  $S$ . Значение этого контактного усилия приближенно можно оценить как разность между эффективной величиной усилия  $P$  (пунктирная линия см. рисунок 1) и ее действительным значением.

На величину усилия прижатия упругой прутковой клеммы также влияет положения равнодействующей давления скобы на клемму. На начальном этапе при малых величинах натяжения, гайка расположенная практически горизонтально опирается на скобу, расположенную на сильно выгнутых усах упругой клеммы, что определяет передачу силы через ближнюю к подошве рельса грань гайки (см. рисунок 3).

В процессе увеличения момента затяжки гайки, происходит постепенное смещение равнодействующей к оси закладного болта. В результате изменяется соотношение плеч между точками опирания клеммы и точкой давления равнодействующей.

Распределение контактной нагрузки определим по соотношению усилий  $P$  и  $N$ . Получим в диапазоне значений  $0 \leq M_{кр} \leq 200 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $0,57N \geq P \geq 0,40N$ .

Таким образом, превышение нормативного момента затяжки в скреплении КН-65 приводит к еще меньшему увеличению прижимающей силы упругой клеммы, так как возрастает касательное усилие  $S$ . При моментах затяжки значительно превышающих нормативное значение усы клеммы ложатся на подкладку, что является конструктивной защитой от пере-

напряжения прутковых клемм.

Существует вероятность такого взаимного положения закладного болта и скобы, при котором вследствие контактного взаимодействия скоба сминает резьбу болта. Этот эффект наблюдался при проведении экспериментальных исследований и обследовании закладных болтов опытных участков. Однако, необходимо отметить, что это повреждение находится вне рабочей зоны резьбы.

Выводы:

1 Разработанная экспериментальная методика позволила провести непосредственные измерения усилий прижатия клеммы к подошве и усилий натяжения закладного болта.

2 Проведено сравнение зависимости усилий прижатия клеммы от величины момента затяжки гайки для скреплений КН-65 и КБ-65. Получено, что при моментах более 80 Н·м усилия прижатия прутковых клемм (КН) меньше, чем при использовании жестких клемм скрепления КБ.

3 В работе проведен подробный анализ взаимодействия рабочих элементов скрепления КН-65 и выяснены причины нелинейного характера зависимости усилий прижатия от момента затяжки.

4 Оценена эффективность работы скрепления с упругими прутковыми клеммами. Для исключения вероятности контакта острых граней скобы и резьбы необходимо изменение геометрии усов упругой прутковой клеммы, что повысит эффективность работы скрепления данного типа, а также появится возможность снижения нормативного значения затяжки гаек, при сохранении уровня прижатия клеммы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Скрепления КН-65 и ГС-65 / Н.И. Карпущенко [и др.] // Путь и путевое хоз-во. -2003. - №9. -С. 30-33.

2 Карпущенко, Н.И. Обеспечение надёжности железнодорожного пути и безопасности движения поездов / Н.И. Карпущенко, Д.В. Величко. -Новосибирск: Сиб. гос. ун-т путей сообщения, 2008. -321 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** промежуточное рельсовое скрепление, рельс, железнодорожный путь, упругая прутковая клемма, погонное сопротивление смещению плети

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Тихомиров Виктор Михайлович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»  
Величко Дмитрий Валерьевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»  
Лыков Кирилл Юрьевич, аспирант-стажер ГОУ ВПО «СГУПС»

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПОВЫШАЮЩИМ ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ ПРИ ПИТАНИИ ОТ ЕМКОСТНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

ФГОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»

**В.А. Васильев**

**RESEARCH OF SIMULATION MODEL OF THE TRACTION ELECTRIC DRIVE WITH A RAISING PULSING REGULATOR AT POWER SUPPLIES FROM THE CAPACITOR STORE DEVICE OF ENERGY**

«Petersburg state transport university»

V.A. Vasilev

Use of a raising pulse regulator for expansion of area of use of energy of the capacitor store is considered at power supplies of the traction electric motor.

*Keywords: the traction electric drive, raising pulse regulator, the capacitor store device of energy*

Рассматривается использование повышающего импульсного регулятора для расширения области использования энергии емкостного накопителя при питании тягового электродвигателя.

Отечественной промышленностью в настоящее время освоен выпуск емкостных накопителей энергии их применение на электроподвижном составе позволит лучше использо-

вать энергию рекуперативного торможения для последующего разгона при трогании [1].

Пуск и последующий разгон после остановки осуществляется с питанием от емкостного накопителя, напряжение на котором по мере разгона снижается, что влияет на тяговые свойства электроподвижного состава. Также на современном этапе развития емкостных накопителей энергии установка их на подвижном составе с целью обеспечения запаса энергии рекуперативного торможения влечет к увеличению массы одного вагона примерно на 10%, что крайне нежелательно, поскольку это приводит к изменению тяговых характеристик и увеличивает расход электроэнергии.

Для уменьшения массогабаритных показателей емкостных накопителей энергии установленных на борту электрического подвижного состава и улучшения тяговых характеристик может оказаться целесообразным после повышения напряжения на тяговых электродвигателях до уровня напряжения источника питания использование повышающего преобразователя, продолжающего повышение напряжения до максимальной величины, на которое рассчитаны тяговые двигатели.

Повышение напряжения импульсным регулятором выше уровня входного возможно реализовать с помощью схемы представленной на рисунке 1.

В этой схеме транзистор VT1 периодически замыкает емкостной накопитель на дроссель L. В процессе замыкания транзистора на дросселе наводится значительная ЭДС, направленная согласно с напряжением накопителя

$$U_L = U_{HЭ} = L \frac{di_{HЭ}}{dt} = L \frac{\Delta i_{HЭ}}{\lambda T}, \quad (1)$$

- где  $L$  – индуктивность дросселя;
- $\Delta i_{HЭ}$  – размах пульсаций тока дросселя;
- $U_{HЭ}$  – напряжение накопителя;
- $\lambda$  – коэффициент заполнения;
- $U_L$  – напряжение на дросселе.

Во время интервала, когда транзистор закрыт накопленная энергия поступает в конденсатор и нагрузку

$$U_L = U_{HЭ} - U_H = -L \frac{\Delta i_{HЭ}}{dt} = -L \frac{\Delta i_{HЭ}}{(1-\lambda)T}, \quad (2)$$

где  $U_H$  – напряжение на нагрузке.

В результате через диод VD и выходной конденсатор C протекает ток, имеющий форму всплеска.

Выразив оба выражения относительно тока дросселя

$$\frac{\lambda T U_{HЭ}}{L} = \frac{(1-\lambda)T}{L} (U_{HЭ} - U_H), \quad (3)$$

можно определить зависимость выходного напряжения от входного при различном коэффициенте заполнения

$$U_{HЭ} = (1-\lambda)U_H. \quad (4)$$

Напряжение на двигателе при этом равно сумме напряжений на дросселе L и накопителе, а подключенный параллельно нагрузке конденсатор заряжается до напряжения выше источника питания.

Немаловажным при анализе работы повышающего преобразователя является внутреннее сопротивление источника питания [2], которое существенно влияет на среднее значение

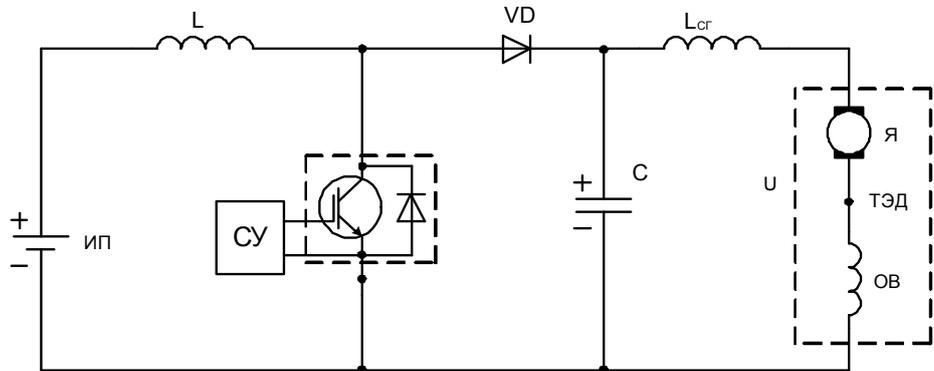


Рисунок 1 – Принципиальная схема импульсного регулятора с повышенным выходным напряжением

выходного напряжения

$$U_H = \frac{U_{HЭ}}{1-\lambda} - \frac{I_H R}{(1-\lambda)^2}, \quad (5)$$

где  $R$  – внутреннее сопротивление источника питания и омическое сопротивление дросселя  $L$ .

Так как внутреннее сопротивление накопителя составляет доли ом, его применение в качестве источника питания позволяет повысить эффективность повышающего регулятора.

Однако при использовании повышающего преобразователя для питания тягового электродвигателя, вначале необходимо согласовать напряжение на нем с напряжением накопителя. Представленная на рисунке 2 схема позволяет регулировать выходное напряжение от минимального до максимального напряжения

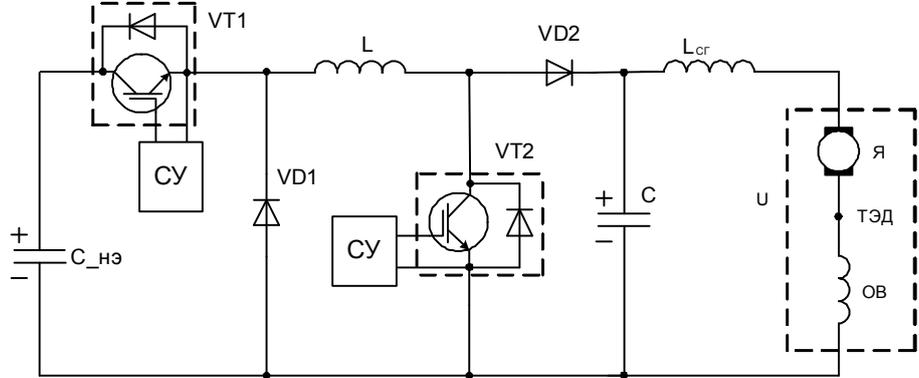


Рисунок 2 – Принципиальная схема импульсного регулятора напряжения на тяговом электродвигателе

источника питания с помощью транзистора  $VT1$ , а затем без дополнительных переключений транзистором  $VT2$  повышать напряжение до требуемого уровня. На выходе регуляторов стоит однозвенный фильтр, конденсатор которого при работе повышающего регулятора используется в качестве накопительной емкости.

Для проверки работоспособности предложенного схемотехнического решения была разработана имитационная модель (рисунок 3) в пакете SimPowerSystems (Matlab Simulink), которая включала в себе модель накопителя, модель тягового электродвигателя ТЭД-2У, понижающий и повышающий широтно-импульсный регулятор на IGBT транзисторах  $VT1$ ,  $VT2$  и системы управления широтно-импульсными регуляторами.

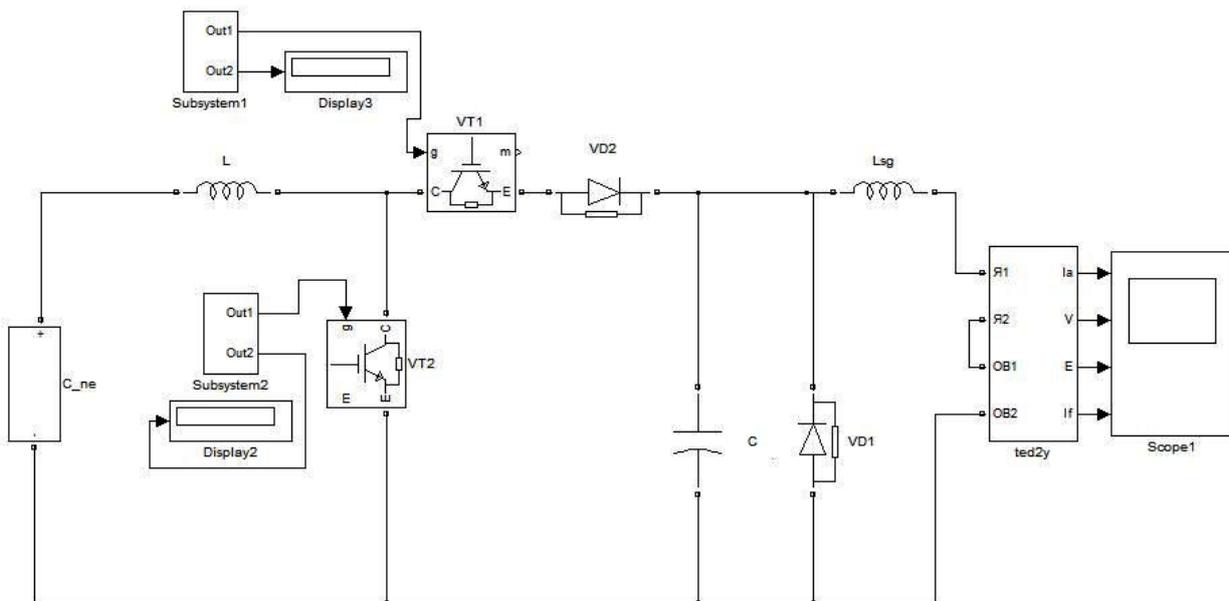


Рисунок 3 – Имитационная модель импульсного регулятора напряжения на тяговом электродвигателе

Напряжение на тяговом электродвигателе повышается до уровня источника питания с помощью широтно-импульсного регулятора на транзисторе  $VT1$ . При этом пусковой ток поддерживается постоянным. После разгона двигателя и выхода его на автоматическую харак-

теристику, начинает работать повышающий преобразователь, выполненный на транзисторе VT2.

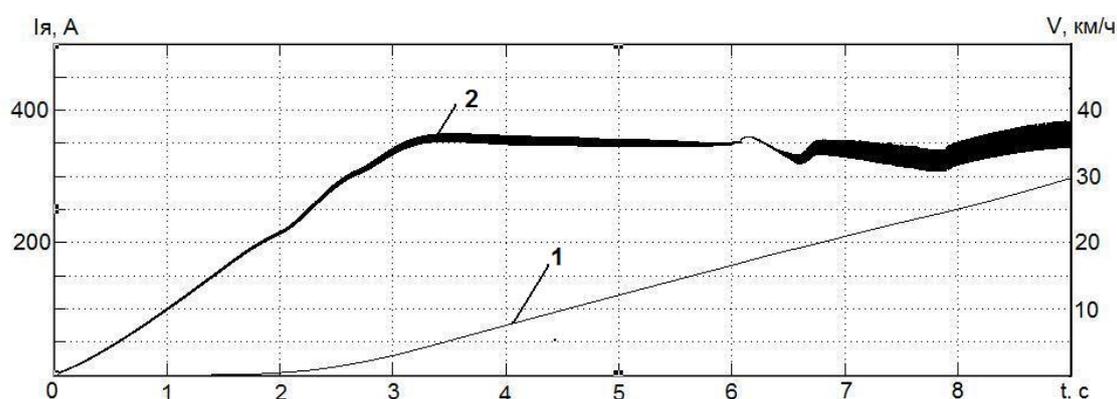


Рисунок 4 – Графики зависимостей скорости вращения (кривая 1) и тока якоря (кривая 2) от времени

По результатам моделирования получена разгонная характеристика (рисунок 4) тягового привода с электродвигателем при питании от емкостного накопителя энергии. Рассмотренный импульсный регулятор дает возможность компенсировать уменьшение напряжения на емкостном накопителе и поддерживать ток двигателя на заданном уровне.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Евстафьев, А.М. Об использовании суперконденсаторов /А.М. Евстафьев // Ж.-д. трансп. -2010. -№2. -С. 31-32.

2 Бирзниец, Л.В. Импульсные преобразователи постоянного тока / Л.В. Бирзниец. -М.: Энергия, 1974. -256 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *тяговый электропривод, повышающий импульсный регулятор, емкостной накопитель энергии*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Васильев Виталий Алексеевич, аспирант ФГОУ ВПО «ПГУПС»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *190031, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 9, ФГОУ ВПО «ПГУПС»*

## РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ТЕПЛОБМЕННИКЕ ИНДУКТИВНО-КОНДУКТИВНОГО НАГРЕВАТЕЛЯ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**С.Л. Собин, А.И. Елшин, С.С. Прудников**

**THE SYSTEM CONTROL OF ELECTRIC HEATING**  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
S.L. Sobin, A.I. Elshin, S.S. Prudnikov

In the article account electromagnetic field in heating chamber of inductive-conductive heater are considered. For division functions are made recurrent parities, enabling to result differential calculation in algebraic equations account.

*Keywords: electromagnetic field, recurrent parities*

Рассматривается алгоритм расчета распределения электромагнитного поля в теплообменнике индуктивно-кондуктивного нагревателя на базе общих решений уравнений Максвелла с применением рекуррентных соотношений.

Теплообменные камеры индуктивно-кондуктивных нагревателей образуют каналы кольцевого сечения для теплоносителя, выполнены в общем случае из разнородных металлов и подвергаются в процессе нагрева воздействию проникающего электромагнитного поля промышленной частоты 50, 60, 200, 400 Гц. Под воздействием переменного поля в стенках теплообменника создаются вихревые токи порядка нескольких килоампер, обеспечивающие нагрев корпуса [1].

Схематичное изображение структуры электронагревателя приведено на рисунке 1а, для которого характерно следующее:

- радиальный размер сечения зоны теплообменника значительно меньше его высоты, что позволяет считать поле одномерным, зависящим только от координаты  $R$ ;
- стенки теплообменника рассматриваются как проводящие среды и диэлектрическая проницаемость кольцевого канала теплообменника принята равной проницаемости воздуха;
- процессы являются квазистационарными с синусоидальным изменением величин во времени.

Математическая модель (рисунок 1б) теплообменной камеры основана на представлении реальной структуры активной зоны в виде ряда чередующихся однородных сред [2, 3].

Исследование распределения электромагнитного поля сведено к исследованию функции и ее первой производной численным способом по следующему алгоритму [4]:

- для однородных сред (проводящей и непроводящей) решается система уравнений на базе уравнений электродинамики;
- по уравнению Гельмгольца отыскивается общее решение для исследуемой функции, в качестве которой в настоящей задаче выбрана аксиальная составляющая напряженности магнитного поля  $H_z$ ;

– составляются рекуррентные соотношения, связывающие входные и выходные величины функции и ее производной на шаге интегрирования, величина которого определяется степенью точности расчета;

– формируются условия на границах сред и задаются краевые и начальные значения исследуемой функции и ее производной;

– итерационным численным методом отыскивается распределение функции в исследуемом пространстве, удовлетворяющее граничным условиям с принятой погрешностью и рассчитываются электромагнитные параметры поля.

Система дифференциальных уравнений Максвелла для проводящего слоя с током проводимости, наведенным внешним источником поля, записывается для электромагнитного поля при установившихся токах и напряжениях:

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{\delta}; \text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \text{div } \vec{B} = 0; \text{div } \vec{\delta} = 0. \quad (1)$$

Система уравнений (1) дополняется соотношениями связи между векторами индукции и напряженности магнитного поля, векторами тока и напряженности электрического поля:

$$\vec{B} = \mu \vec{H}; \vec{\delta} = \gamma \vec{E},$$

где  $\mu, \gamma$  – комплексные тензорные величины, зависящие от координат;

$\delta$  – ток проводимости.

Для непроводящей среды система уравнений Максвелла вместе с уравнениями связи примет вид:

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{\delta}_{cm}; \text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \vec{\delta}_{cm} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}; \vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}; \vec{B} = \mu_0 \vec{H}. \quad (2)$$

Системы (1) и (2) приводятся к уравнениям относительно вектора напряженности поля  $H_z$ , обладающего непрерывностью на границе раздела: проводник-воздух.

На основании системы уравнений Максвелла (1) получим уравнение второго порядка относительно напряженностей магнитного поля в проводящем слое

$$\Delta H = \mu \gamma \frac{\partial H}{\partial t}. \quad (3)$$

Для диэлектрика из системы уравнений (2)

$$\Delta H = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 H}{\partial t^2}. \quad (4)$$

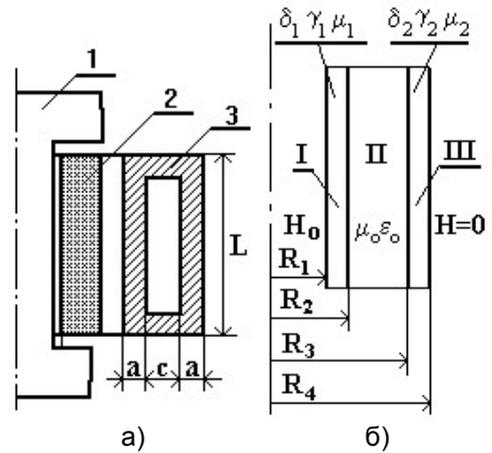


Рисунок 1 – Конструктивная схема нагревателя (а) и расчетная модель (б): 1- магнитопровод, 2-обмотка, 3- теплообменник

В рассматриваемой нагревательной системе уравнение Гельмгольца относительно исследуемой функции имеет вид

$$\nabla^2 H_z + k^2 H_z = 0. \quad (5)$$

– для проводящей среды

$$k = \sqrt{-j\omega\mu\gamma},$$

– для непроводящей

$$k = \omega\sqrt{\mu_0\epsilon_0}.$$

Индекс  $z$  в дальнейшем опускаем.

Общее решение уравнения (5) в цилиндрической системе координат представим в виде комбинации функций Бесселя 1-го и 2-го рода нулевого порядка

$$H = A \cdot J_0(kR) + B \cdot N_0(kR), \quad (6)$$

где  $A, B$  – постоянные интегрирования;

$R$  – текущий радиус.

Первая производная функции имеет вид

$$\frac{\partial H}{\partial r} = k[A \cdot J_1(kR) + B \cdot N_1(kR)]. \quad (7)$$

Для элементарного слоя пространства толщиной  $\Delta r$  отыщем функциональные связи выходных характеристик функции  $H$  и ее производной  $\partial H/\partial R$  на границе слоя  $R_2$  и входных характеристик функции  $H$  и ее производной  $\partial H/\partial R$  на границе слоя  $R_1$  на основании общих решений (6) и (7). При этом исключаются постоянные интегрирования  $A$  и  $B$

$$H_2 = H_1 \cdot k\pi R_1 \frac{J_1(kR_1)N_0(kR_2) - J_0(kR_2)N_1(kR_1)}{2} + \left(\frac{\partial H}{\partial r}\right)_1 k^2 \pi R_1 \frac{J_0(kR_2)N_0(kR_1) - J_0(kR_1)N_0(kR_2)}{2}, \quad (8)$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial r}\right)_2 = H_1 \cdot \pi R_1 \frac{J_1(kR_1)N_1(kR_2) - J_1(kR_2)N_1(kR_1)}{2} + \left(\frac{\partial}{\partial r}\right)_1 \pi k R_1 \frac{J_1(kR_2)N_0(kR_1) - J_0(kR_1)N_1(kR_2)}{2}. \quad (9)$$

Ниже приведены упрощенные рекуррентные соотношения для функции напряженности и ее первой производной на границах слоя.

$$H_2 = H_1 \cdot B_{11} + \left(\frac{\partial H}{\partial r}\right)_1 \cdot B_{12}; \quad (10)$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial r}\right)_2 = H_1 \cdot B_{21} + \left(\frac{\partial H}{\partial r}\right)_1 \cdot B_{22}. \quad (11)$$

Здесь коэффициенты  $B_{11}, B_{12}, B_{21}$  и  $B_{22}$  – алгебраические выражения, содержащие  $k\Delta R$  и  $kR_1$

$$B_{11} = 1 - \frac{(k\Delta R)^2}{2}; \quad B_{12} = \Delta R - \frac{\Delta R^2}{2R_1}; \quad B_{21} = -k^2 \Delta R + \frac{k^2 \Delta R^2}{2R_1}; \quad B_{22} = 1 - \frac{(k\Delta R)^2}{2} - \frac{\Delta R}{R_1} + \frac{\Delta R^2}{2 \cdot R_1^2}. \quad (12)$$

Граничные и начальные значения относительно функции и ее первой производной.

1 На внутренней поверхности проводящей среды активной зоны теплообменника с радиусом  $r = R_1$  задаются:

– начальное значение функции  $H_0$ , определяемое МДС первичной обмотки

$$H_0 = \frac{iW}{L}, \text{ A/м};$$

– начальное значение производной функции выбрано произвольно, например, для данного случая из условия соответствия плотности тока на постоянном токе

$$\delta = -k \frac{dH'}{dr}.$$

2 На внешней поверхности внутренней стенки теплообменника с радиусом  $r = R_2$  в силу непрерывности напряженностей электрического и магнитного полей граничные условия для

функции и производной имеют вид (индексы I и II относятся соответственно к первой и второй средам).

$$H' = H''; \frac{k_1}{\gamma_1} \left( \frac{dH'}{dr} \right) = \frac{k_0}{j\omega\epsilon_0} \left( \frac{dH''}{dr} \right).$$

3 На внутренней поверхности внешней стенки теплообменника с радиусом  $r = R_3$  сохраняются условия непрерывности напряженностей электрического и магнитного полей

$$H'' = H'''; \frac{k_0}{j\omega\epsilon_0} \left( \frac{dH''}{dr} \right) = \frac{k_2}{\gamma_2} \left( \frac{dH'''}{dr} \right).$$

4 На внешней поверхности внешней стенки теплообменника с радиусом  $r = R_4$  функция должна обратиться в ноль, что может быть критерием оценки длительности вычислительного процесса по условию

$$|H'''| \leq \tau.$$

При достижении удовлетворительной сходимости после ряда итераций осуществляется расчет интегральных характеристик системы индуктивно-кондуктивного нагрева.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Елшин, А.И. Конструкции и расчет трансформаторных устройств низкотемпературного нагрева для жизнеобеспечения человека / А.И. Елшин. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2000. -140 с.
- 2 Бреховских, М.Л. Волны в слоистых средах / М.Л. Бреховских. -М.: Наука, 1973. -343 с.
- 3 Кравченко, А.Н. Краевые характеристики в задачах электродинамики / А.Н. Кравченко. -Киев: Наук. думка, 1989. -224 с.
- 4 Елшин, А.И. Метод расчета двумерного электромагнитного поля в проводящей среде / А.И. Елшин // Вестн. НГТУ. -Новосибирск, 1999. -№2(7). -С. 61-77.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электромагнитное поле, рекуррентные соотношения  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Собин Сергей Леонидович, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
 Елшин Анатолий Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
 Прудников Сергей Сергеевич, аспирант-стажер ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## ВОЛНОВЫЕ УРАВНЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ЭНЕРГОСИСТЕМ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**Н.Н. Лизалек, В.Ф. Тонышев**

**WAVE EQUATIONS OF POWER SYSTEMS OSCILLATIONS**  
 «Novosibirsk state academy of water transport»  
 N.N. Lizalek, V.F. Tonyshev

A method for estimating the stability of power systems based on analysis of the energy of their oscillations is proposed.

*Keywords: stability of power systems, wave equations of power system*

Предложен метод оценки устойчивости энергосистем на основе анализа энергии их колебаний.

Волновые процессы в распределенных механических колебательных системах описываются дифференциальными уравнениями в частных производных. Для известных классических примеров таких систем в механике в этих уравнениях взаимные перемещения частей системы, определяющие упругие силы взаимодействия, и взаимное положение этих частей относительно друг друга описываются в физическом отношении одними и теми же пространственными координатами [1]. При анализе переходных процессов в энергосистемах этот универсализм пространственных координат теряется, силовые взаимодействия зависят от взаимных угловых перемещений, а место, в котором наблюдаются эти перемещения, непосредственно никак не связано с их величиной и определено положением узла в сетевой структуре системы (его номером). Аналогичные процессы наблюдаются при рассмотрении

механических колебаний в системах, составленных из сосредоточенных осцилляторов, в случаях, когда исследуются закономерности колебаний отдельных элементов в зависимости от их положений внутри системы.

Введем представление о пространстве узлов, определив его как совокупность узлов системы, расстояния между которыми определяются в соответствии с топологической структурой (графом) системы как минимальное количество участков (линий электропередач), которые надо пройти при перемещении из одного узла системы в другой. Так как во всех случаях при записи уравнений используются соотношения только для непосредственно связанных узлов, то понятие расстояния между точками графа нам потребуется только для этого случая.

Предметом рассмотрения будут закономерности формирования модальных составляющих свободного колебательного движения. Модальная,  $k$ -ая составляющая, распределение амплитуд которой рассматривается как функция положения узла в системе, будет называться собственной (волновой) функцией системы для движений с частотой  $\Omega_k$  и областью определения на узлах системы (точнее – стационарной волновой функцией). Переход к рассмотрению распределений амплитуд как функций, определенных в пространстве узлов, имеет особый смысл в том случае, когда с ними можно оперировать именно как с функциями, в частности дифференцировать их (хотя бы в конечно-разностной форме). В ряде простых случаев такой подход позволяет получать результаты аналитического характера. Уравнения движения, в которых модальные составляющие выступают как функции в пространстве узлов, будем называть волновыми.

Рассмотрим простейшую математическую модель с «выключенным» демпфированием [2] при пренебрежении влияния изменения модулей напряжения в узлах на активное потоко-распределение.

И принимая в качестве  $\Omega_0$  частоту в исходном установившемся режиме системы

$$\frac{d\Omega_i}{dt} = \frac{d\Delta\Omega_i}{dt} = \frac{d^2\Delta\delta_i}{dt^2}, \quad (1)$$

где  $\Delta\delta_i$  – отклонения угла вектора напряжения или ЭДС от оси, вращающейся с частотой  $\Omega_0$ .

Общеизвестное уравнение движения синхронных машин запишется

$$\frac{d^2\Delta\delta_i}{dt^2} = \frac{P_{\pi} - P_{ei}}{J_i (\Omega_0 + \Delta\Omega_{ei})} \approx \frac{P_{\pi} - P_{ei}}{J_i \Omega_0} = \Omega_0 \frac{P_{\pi} - P_{ei}}{J_i \Omega_0^2} = \Omega_0 \frac{P_{\pi} - P_{ei}}{T_{ij} P_{номi}}, \quad (2)$$

где, в соответствии с определением постоянной времени  $T_{ij}$  в секундах при базисной мощности для вычисления момента принято приближенное соотношение

$$\frac{P_{\pi} - P_{ei}}{\Omega_0 + \Delta\Omega_{ei}} \approx \frac{P_{\pi} - P_{ei}}{\Omega_0}. \quad (3)$$

В такой идеализации линейные колебания энергосистемы подобны колебаниям механической системы, составленной из сосредоточенных, упруго связанных между собой масс. Отклонениям углов в электроэнергетической системе соответствуют перемещения отдельных массивных точек механического аналога. Линеаризованные в окрестности стационарного состояния системы уравнения движения имеют вид

$$\frac{d^2\Delta\delta_{ei}}{dt^2} = -\frac{\Omega_0}{T_{ij} P_{номi}} \frac{\partial P_{ei}}{\partial \delta_{ei}} (\Delta\delta_{ei} - \Delta\delta_i); \quad \frac{\partial P_{ei}}{\partial \delta_{ei}} (\Delta\delta_{ei} - \Delta\delta_i) = \sum_j \frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta_{ei}} (\Delta\delta_{ei} - \Delta\delta_j); \quad (4)$$

$$P_{ei} = E_i U_i Y_i \sin(\delta_{ei} - \delta_i); \quad P_{ij} = E_i U_j Y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j); \quad P_{ei} - P_{ni} - \sum_j P_{ij} = 0,$$

углы измеряются относительно произвольно выбранной синхронно вращающейся оси,  $i = 1, \dots, N$ ;

где  $j$  – узлы, инцидентные  $i$ -ому;

$E_i, U_i, P_{ni}$  – постоянные величины;

$\Omega_0 = 314$  рад/с

Введем обозначения:

$$m_i = \Omega_0 J_i; \quad S_{ei} = \frac{\partial P_{ei}}{\partial \delta_{ei}}; \quad S_{ai} = \frac{\partial P_{ji}}{\partial \delta_i}; \quad K_{ij} = \frac{S_{ji}}{S_{ei}}; \quad \Omega_{pi} = \sqrt{\frac{S_{ei}}{m_i}}, \quad (5)$$

где  $\Omega_{pi}$  – частота колебаний ротора  $i$ -го генератора при неизменности по модулю и углу вектора напряжения на его шинах (парциальная частота);  
 $K_{ij}$  – коэффициенты относительной жёсткости примыкающих к  $i$ -ому узлу связей (по отношению к жёсткости связи генератора с системой).

Тогда уравнения будут представлены в виде

$$\begin{cases} \frac{d^2 \Delta \delta_{ai}}{dt^2} = -\Omega_{pi}^2 (\Delta \delta_{ai} - \Delta \delta_i); \\ \Delta \delta_{ai} - \Delta \delta_i = \sum_j K_{ij} (\Delta \delta_{ai} - \Delta \delta_j). \end{cases} \quad (6)$$

Исключая  $\Delta \delta_{ai}$ , получим для каждого узла дифференциальное уравнение второго порядка

$$\frac{d^2 \Delta \delta_i}{dt^2} = \sum_j K_{ij} \left( \frac{d^2 \Delta \delta_i}{dt^2} - \frac{d^2 \Delta \delta_j}{dt^2} \right) - \Omega_{pi}^2 \sum_j K_{ij} (\Delta \delta_i - \Delta \delta_j) = 0. \quad (7)$$

Общее решение, которого, представим суммой

$$\Delta \delta_i(t) = \sum_{k=1}^N (C_{ik} \cos \Omega_k t + B_{ik} \sin \Omega_k t),$$

каждая компонента, которой удовлетворяет (7). Подставим  $k$ -ую компоненту в (7), получим соотношение для амплитуд

$$\begin{cases} \sum_j K_{ij} (C_{ik} - C_{jk}) - \frac{C_{ik} \Omega_k^2}{\Omega_{pi}^2 - \Omega_k^2} = 0; \\ \sum_j K_{ij} (B_{ik} - B_{jk}) - \frac{B_{ik} \Omega_k^2}{\Omega_{pi}^2 - \Omega_k^2} = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Уравнения, определяющие амплитуды  $C_{ik}, B_{ik}$  (с точностью до постоянного множителя) совпадают, то есть

$$\frac{C_{ik}}{B_{ik}} = \text{Const},$$

и колебания углов в различных узлах системы для  $k$ -ой составляющей синфазны (противофазные движения считаются синфазными с амплитудами разного знака), следовательно

$$\Delta \delta_i(t) = \sum_{k=1}^N A_{ik} \cos(\Omega_k t + \varphi_k). \quad (9)$$

Синфазность колебаний позволяет характеризовать  $k$ -ую составляющую как стоячую электромеханическую волну, распределённую по системе с амплитудами  $A_{ik}$  (моду с пространственной конфигурацией  $A_{ik}$ ). Заменим вектор с элементами  $A_{ik}$  волновой функцией от номера узла  $A_k(i)$ . Тогда она формально удовлетворяет одному уравнению в конечно-разностных производных

$$\sum_j K^j(i) \frac{dA_k^j(i)}{di} = \frac{A_k(i) \Omega_k^2}{\Omega_p^2(i) - \Omega_k^2} = 0, \quad (10)$$

где  $K^j(i)$  – вектор-функция целочисленного аргумента;

$\Omega_p(i)$  – скалярная функция;

$dA_k^j(i)/di$  – конечноразностная производная функции  $A_k(i)$ , взятая в  $i$ -ом узле по направлению от  $j$ -го инцидентного узла к  $i$ -му узлу, расстояние между которыми условно принято за единицу,

$$\frac{dA_k^j(i)}{di} = A_k(j) - A_k(i).$$

Волновая функция  $A_k(i)$ , взятая в  $i$ -ом узле по направлению от  $j$ -го инцидентного узла к  $i$ -ому узлу, расстояние между которыми условно принято за единицу. Волновая функция  $A_k(i)$ , удовлетворяющая (10), даёт амплитуды колебаний и не зависит от времени. Независящая от времени волновая функция называется стационарной, а уравнение (10) – стационарным волновым уравнением.

Заметим, что систему (6) также можно заменить эквивалентной системой из двух волновых уравнений в частных производных. Вводя вместо неизвестных векторов функции  $\Delta\delta_e(i,t)$ ,  $\Delta\delta(i,t)$  зависящие от номера узла и времени (нестационарные волновые функции), получим:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 \Delta\delta_e(i,t)}{\partial i^2} = -\Omega_p^2(i) [\Delta\delta_e(i,t) - \Delta\delta(i,t)], \\ \Delta\delta_e(i,t) - \Delta\delta(i,t) = -\sum_j K_j(i) \frac{\partial \Delta\delta_e(i,t)}{\partial i}. \end{cases} \quad (11)$$

Полагая, что неизвестные функции из (11) представимы в виде произведений функций, зависящих только от времени и только от номера узла ( $\Delta\delta_e(i,t) = \Delta\delta_{et} \Delta\delta_{ei}$ ;  $\Delta\delta(i,t) = \Delta\delta_t \Delta\delta_i$ ), методом Фурье получим обыкновенные дифференциальные уравнения для временного и пространственного сомножителей:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 \Delta\delta_{et}}{\partial t^2} = -\Omega^2 \Delta\delta_{et}; \\ \Delta\delta_{et} = \Delta\delta_t = \cos(\Omega t + \varphi); \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} \sum_j K_j(i) \frac{d^j \Delta\delta_i}{di} + \frac{\Delta\delta_i \Delta\Omega^2}{\Omega_p^2(i) - \Omega^2} = 0; \\ \Delta\delta_{et} = \frac{\Delta\delta_i \Delta\Omega^2}{\Omega_p^2(i) - \Omega^2}. \end{cases} \quad (13)$$

С учётом, что  $\Omega$  представляет собой возвращающий момент, приходящийся на единицу перемещения. Это позволяет определить изменения потенциальной энергии отдельных генераторов при колебаниях. Приращение потенциальной энергии

$$\Delta W_i = 0,5 J_i (\Omega \Delta\delta_{ei} \cos \Omega t)^2,$$

изменение кинетической энергии

$$\Delta K_i = 0,5 J_i (\Omega \Delta\delta_{ei} \sin \Omega t)^2,$$

суммарное приращение энергии при колебаниях (энергия колебаний)

$$\Delta E_i = 0,5 J_i (\Omega \Delta d_{ei})^2 = \text{Const}.$$

В приведенном выражении энергия колебаний вычисляется в зависимости от амплитуды колебаний ротора синхронной машины. Эта же величина может быть определена через изменение углового положения вектора напряжения на шинах машины. Для этого воспользуемся соотношением между амплитудами углов, определенным в системе уравнений (13), получим

$$\Delta E_i = 0,5 J_i (\Omega \Delta d_{ei})^2 \left[ \frac{\Omega_{pi}^2}{\Omega_{pi}^2 - \Omega^2} \right]^2. \quad (14)$$

Полная энергия колебаний всех синхронных машин системы с частотой  $\Omega$  равна сумме энергетических вкладов отдельных машин

$$\Delta E = \sum_{i=1}^N \Delta E_i = \sum_{i=1}^N J_i e_i \Delta\delta_i^2, \quad (15)$$

и выражается в виде положительно определенной квадратичной формы с коэффициентами

$$e_i = 0,5 \Omega^2 \left[ \frac{\Omega_{pi}^2}{\Omega_{pi}^2 - \Omega^2} \right]^2, \quad (16)$$

которые мы будем называть удельными собственными значениями энергии колебаний, приходящимися на единичный момент инерции.

Введем понятие энергии парциальных колебаний синхронной машины. Определим эту величину в соответствии с соотношением

$$\Delta E_{pi} = 0,5 J_i \Omega_{pi}^2 (\Delta\delta_{ei} - \Delta\delta_i)^2. \quad (17)$$

Воспользовавшись тем же соотношением между углом ротора и углом вектора напряжения, что и при вычислении полной энергии колебаний, запишем энергию парциальных колебаний системы в виде

$$\Delta E_p = \sum_{i=1}^N \Delta E_{pi} = \sum_{i=1}^N J_i e_{pi} \Delta \delta_i^2 = \sum_{i=1}^N \Delta E_i \left( \frac{\Omega}{\Omega_{pi}^2} \right)^2, \quad (18)$$

где  $e_{pi}$  – коэффициент, является удельным собственным значением энергии парциальных колебаний.

Удельные собственные значения энергии колебаний и энергии парциальных колебаний можно использовать для получения стационарного волнового уравнения в другой форме

$$\begin{cases} \sum_j S_{ij} \frac{d\Delta \delta_j}{dj} + m_i e_{cvi} \Delta \delta_i = 0; \\ e_{cvi} = e_i - e_{pi}; \\ \Delta \delta_{vi} = 2 e_{cvi} \frac{\Delta \delta_i}{\Omega^2}, \end{cases} \quad (19)$$

где  $e_i, e_{pi}$  – удельные собственные значения энергии колебаний и энергии парциальных колебаний;

$e_{cvi}$  – удельное собственное значение энергии связи.

$$e_{cvi} = \frac{1}{2} \frac{\Omega^2 \Omega_{pi}^2}{\Omega_{pi}^2 - \Omega^2}.$$

Для величин  $\Delta E_i, \Delta E_{pi}$  и  $\Delta E_{cvi}$  справедливы соотношения

$$\Delta E_{cvi} = \Delta E_i - \Delta E_{pi}; \quad \Delta E_{pi} = \Delta E_i \frac{\Omega^2}{\Omega_{pi}^2}.$$

Разность между энергией колебаний и энергией парциального движения определяет энергию связи с системой. Отсюда следует, что энергию парциальных колебаний условно можно считать внутренней энергией, связанной с синхронной машиной как таковой. Энергия связи при  $\Omega < \Omega_p$  положительна, а при  $\Omega > \Omega_p$ , – отрицательна. При положительной энергии связи некоторая доля энергии колебаний машины расходуется на изменение энергии в системе и распределена в ней, при отрицательном ее значении – энергия колебаний машины меньше парциальной энергии, значение последней увеличено за счет энергии системы. При отрицательном значении энергии связи амплитуды колебаний углов ротора синхронной машины и вектора напряжения на ее шинах имеют разные знаки (центр качаний находится внутри машины) и амплитуда колебаний внутреннего угла машины резко возрастает. В низкочастотных колебаниях основную долю полной энергии колебаний системы составляет суммарная энергия связи машин с системой, а доля полной парциальной энергии мала. По мере повышения частоты все большая и большая доля полной энергии колебаний сосредоточена в ее парциальной составляющей, энергия связи падает (достигая нуля у синхронных машин с парциальной частотой, равной частоте колебаний). Квадратичный рост парциальной составляющей энергии колебаний при увеличении частоты приводит к соответствующему росту амплитуд колебаний внутренних углов машин. Это обстоятельство является основным фактором, определяющим повышенное затухание высокочастотных движений вследствие того, что основная доля демпфирующих моментов, действующих в системе, связана именно со скоростями изменения внутренних углов.

Отметим важное свойство аддитивности энергии колебаний и ее энергии колебаний и ее составляющих, позволяющее говорить об энергии колебаний, ее парциальной составляющей и энергии связи применительно не к одной машине, а по отношению к некоторой их группе или, даже, для всей системы в целом.

Произведение квадрата частоты свободных колебаний на момент инерции машины  $J_i$  определяет удельную упругую силу, приходящуюся на единичное перемещение. В электроэнергетике эта удельная упругая сила называется синхронизирующим моментом машины, определяемым как частная производная по угловому перемещению от функциональной зависимости электромагнитного момента от режимных параметров (характеристики электромагнитного момента). Для сложной энергетической системы, обладающей целым набором собственных электромеханических колебаний, введем понятие о соответствующем наборе собственных синхронизирующих моментов для каждой синхронной машины и, одновременно, о наборе собственных характеристик электромагнитного момента. Обозначая собственный синхронизирующий момент  $i$ -ой синхронной машины при колебаниях с частотой  $\Omega_k$  как

$\partial M_{ik} / \partial \delta_{ei}$  (и, соответственно, характеристику собственного электромагнитного момента –  $M_{ik}$ ). Следовательно, собственный синхронизирующий момент и собственная характеристика электромагнитного момента  $i$ -ой синхронной машины для  $k$ -ого свободного движения определяются соотношением, явно зависящим от частоты колебаний

$$\frac{\partial M_{ik}}{\partial \delta_{ei}} = J_i \Omega_k^2. \quad (20)$$

Тогда изменение момента  $\Delta M_{ik}$  и энергия колебаний  $\Delta E_{ik}$  для  $k$ -ого свободного движения запишутся

$$\Delta M_{ik} = \frac{\partial M_{ik}}{\partial \delta_{ei}} \Delta \delta_{eik} = J_i \Omega_k^2 \Delta \delta_{eik}; \quad \Delta E_{ik} = \frac{1}{2} \frac{\partial M_{ik}}{\partial \delta_{ei}} \Delta \delta_{eik}^2 = \frac{1}{2} \frac{\partial P_{ik}}{\partial \delta_{ei}} \frac{\Delta \delta_{eik}^2}{\Omega_0}, \quad (21)$$

где  $\partial P_{ik} / \partial \delta_{ei}$  – собственная синхронизирующая мощность синхронной машины;

$P_{ik}$  – собственная характеристика мощности, определяющая изменения мощности машины при  $k$ -ых собственных колебаниях ее угла относительно выбранной оси отсчета;

$\Omega_0$  – синхронная угловая частота вращения.

Отсюда следует соотношение между энергией колебаний и известной площадкой торможения  $S_{Тик}$  (и, равной ей в случае линейных колебаний, площадкой ускорения) при  $k$ -ом собственном движении ротора

$$\Delta E_{ik} = \frac{S_{Тик}}{\Omega_0}.$$

Естественно распространить представление о собственных синхронизирующих мощностях и характеристиках и на две составляющие энергии колебаний машины: парциальную и энергию связи. Для парциальной составляющей энергии колебаний можно получить соотношения:

$$\Delta M_{ikp} = \frac{\partial M_{ip}}{\partial \delta_{eни}} \Delta \delta_{eник} = J_i \Omega_p^2 \Delta \delta_{eник}; \quad \Delta E_{ikp} = \frac{1}{2} \frac{\partial M_{ip}}{\partial \delta_{eни}} \Delta \delta_{eник}^2 = \frac{1}{2} \frac{\partial P_{ip}}{\partial \delta_{eни}} \frac{\Delta \delta_{eник}^2}{\Omega_0} = \frac{S_{микр}}{\Omega_0}; \quad (22)$$

где  $\partial P_{ip} / \partial \delta_{eни}$  – парциальная синхронизирующая мощность синхронной машины;

$P_{ip}$  – парциальная характеристика мощности, одни и те же для колебаний разных частот;

$J_i, \Omega_p$  – параметры машины и ее стационарного режима работы;

$S_{микр}$  – парциальная площадка торможения, различная для разных собственных движений;

$\Delta \delta_{eник}$  – собственные колебания внутреннего угла, зависящие от частоты колебаний.

Тогда сумма колебаний перетоков активной мощности по отходящим линиям и энергия связи соотносятся следующим образом

$$\frac{1}{2} \sum_j \frac{\Delta P_{ijk}}{\Omega_0} \Delta \delta_{ijk} = \sum_j \frac{S_{mijk}}{\Omega_0} = \Delta E_{ceik},$$

где  $S_{mijk}$  – площадка торможения при колебаниях относительно точки равновесия по собственной характеристике мощности линии связи между узлами  $i$  и  $j$  при вариации угла в  $i$ -ом узле.

Иначе последнее соотношение можно записать в форме

$$\frac{1}{2} \left( \sum_j \frac{\partial P_{ijk}}{\partial \delta_i} (\Delta \delta_{ik} - \Delta \delta_{jk}) \right) \frac{\Delta \delta_{ik}}{\Omega_0} = \sum_j \frac{S_{mijk}}{\Omega_0} = \Delta E_{ceik}, \quad (23)$$

где  $\partial P_{ijk} / \partial \delta_i$  – собственные синхронизирующие мощности связей  $i$ -ого узла со смежными, одинаковые для колебаний разной частоты.

Аддитивности энергии колебаний соответствует и аддитивность площадок торможения различного типа как для каждой машины в отдельности, то есть

$$S_{мик} = S_{микр} + \sum_j S_{mijk}, \quad (24)$$

так и для всей системы в целом. Отметим также важное обстоятельство – парциальная характеристика мощности синхронной машины и собственные характеристики связей, совпа-

дающие с обычными понятиями внутренней характеристики мощности синхронной машины и характеристиками мощности связей, не зависят от частоты колебаний.

Таким образом, энергия колебаний линеаризованной системы и ее составляющие (парциальная и энергия связи) для каждого собственного колебательного движения имеют простую геометрическую интерпретацию, состоящую в их пропорциональной связи с дифференциалами площадок ускорения и торможения, вычисленными по собственным характеристикам мощности. Соотношение (24) представляет собой разложение дифференциала площади ускорения или торможения синхронной машины в колебательном процессе с частотой  $\Omega$  на сумму дифференциалов площадок ускорения или торможения в ее парциальном и общесистемном движении.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Крауфорд, Ф. Волны. Берклеевский курс физики / Ф. Крауфорд. -2-е изд. -М.: Наука, 1976. -528 с.

2 Лизалек, Н.Н. Математическая модель электромеханических переходных процессов в энергосистеме для анализа характера свободных колебаний в простой модификации / Н.Н. Лизалек, В.Ф. Тонышев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№2. -С. 313-316.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** устойчивость энергосистем, волновые уравнения энергосистем  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Лизалек Николай Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Тонышев Владимир Федорович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СРЕДСТВАМИ MATLAB

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Омский институт водного транспорта, филиал ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**Д.А. Зубанов, Д.С. Кудряшов, А.А. Руппель, А.А. Сидоренко, А.Е. Швецова**

### STATISTICAL EVALUATION OF QUALITY OF ELECTRIC POWER BY MEANS OF MATLAB

«Novosibirsk state academy of water transport»

Omsk institute of water transport, branch «Novosibirsk state academy of water transport»

D.A. Zubanov, D.S. Kudryashov, A.A. Ruppel, A.A. Sidorenko, A.E. Shvetsova

Possibility of statistical data processing of measurements of indicators of quality of the electric power by means of IWK «Omsk-M» is considered by means of program Matlab.

*Keywords: statistical estimation, traction substation, the steady voltage deviation, electromagnetic environment, import data*

Рассмотрена возможность статистической обработки данных измерений показателей качества электроэнергии с помощью ИВК «Омск-М» средствами программы Matlab.

При исследовании электромагнитной обстановки в электрических сетях и измерении показателей качества электроэнергии (ПКЭ) часто возникает необходимость определить закон распределения измеряемой величины. Большинство выпускаемых промышленностью приборов для измерения ПКЭ не имеют специализированной программы для статистического анализа ПКЭ.

В комплект поставки ИВК «Омск-М» входит программа «Stat», но ее возможности ограничен: построение гистограмм, проверка на соответствие только нормальному и равномерному закону распределения. В настоящее время для статистической обработки экспериментальных данных широкое использование нашли такие программные продукты, как Statistica 6.0 и Matlab.

Возможности статистической обработки результатов эксперимента рассмотрим на следующем примере. В качестве объекта исследования была выбрана тяговая подстанция городского электротранспорта №20 города Омска (рисунок 1 и 2). Нагрузка на сборных шинах

тяговой подстанции характеризуется непрерывно изменяющимся числом троллейбусов, курсирующих в районе подстанции, а также током, потребляемым каждым из троллейбусов. Ток троллейбуса меняется в зависимости от сопротивления его движению, профиля и состояния пути, наполнения троллейбуса пассажирами и от напряжения сети.

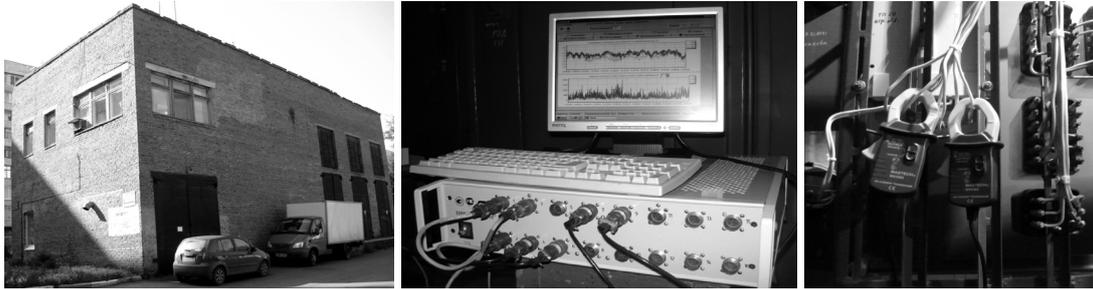


Рисунок 1 – Проведение экспериментальных исследований

Для проведения исследования использовался прибор ИВК «ОМСК-М».

Подключение ИВК «ОМСК-М» выполнено к агрегату №1. Задействовано девять каналов: три канала для измерения напряжения на шинах 10 кВ, шесть каналов для измерения тока в измерительных цепях.

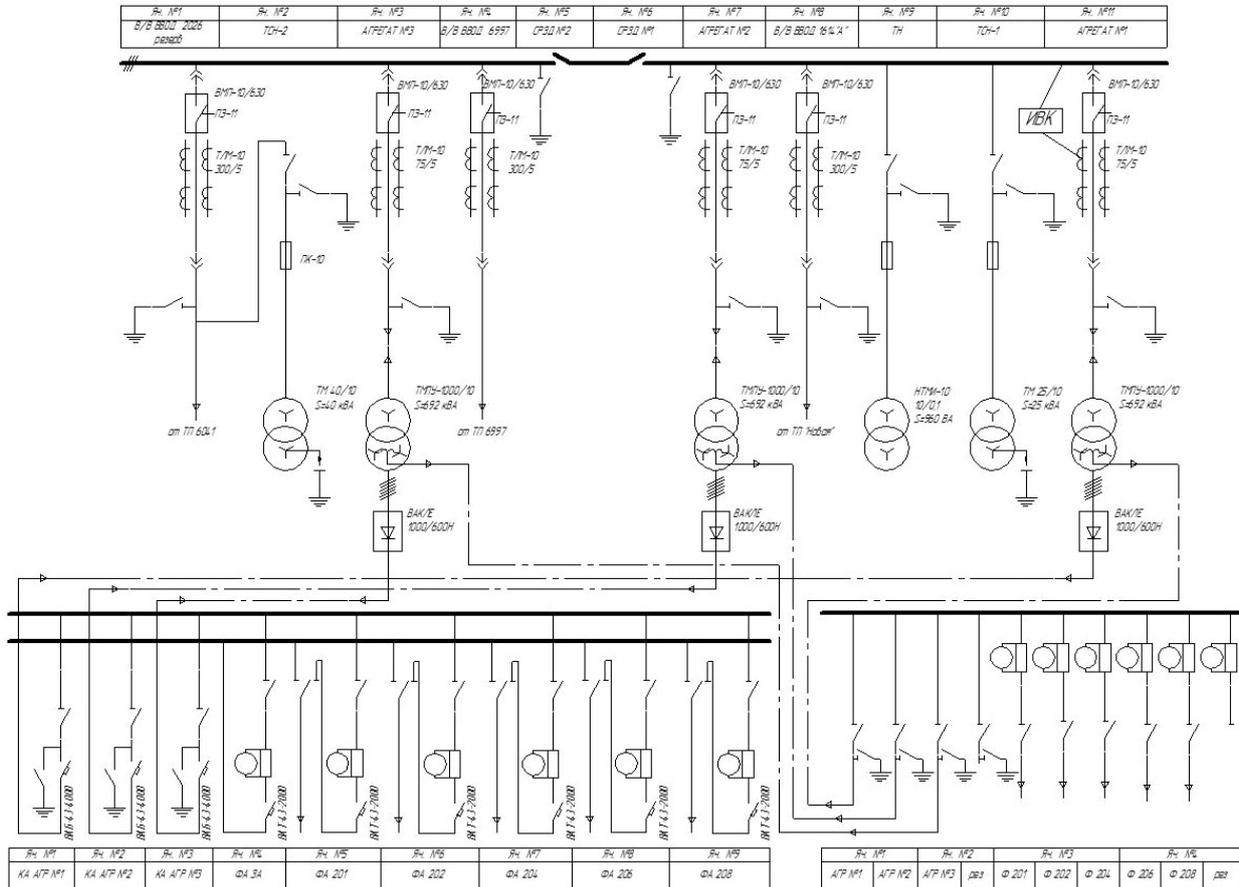


Рисунок 2 – Однолинейная схема тяговой подстанции городского электротранспорта №20 г. Омска

Обработка результатов измерений проводилась при помощи прикладного программного обеспечения ИВК «Омск - М»: программы «Omsk-M», программы «Stat» и программного продукта Matlab пакет Statistics Toolbox.

Для проведения статистической обработки экспериментальных данных, полученных при помощи ИВК «Омск-М» в программе Matlab, предлагается сначала экспортировать данные измерений в документ Microsoft Excel (рисунок 3).

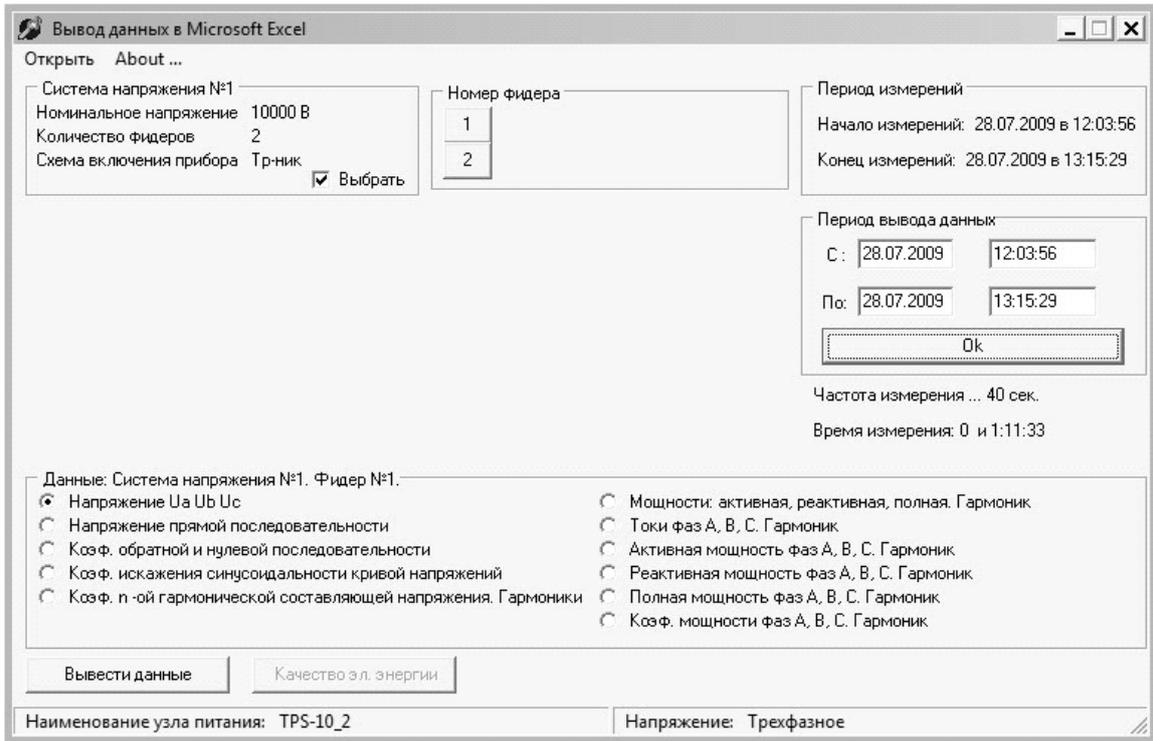


Рисунок 3 – Вывод данных измерений ИВК «Омск-М» в заданном временном интервале в формате данных «Excel»

Пакет Statistics Toolbox (пакет статистических вычислений) представляет собой набор программ, ориентированный на весьма широкий спектр задач: от генерации случайных чисел и подбора кривых под экспериментальные данные до планирования экспериментов и задач промышленного статистического контроля. Инструментальные средства пакета позволяют использовать, как его систему команд в режиме командной строки, так и набор графических интерактивных программ (графический интерфейс пользователя) [1].

Одним из основных достоинств Statistics Toolbox является весьма обширный набор его функций и главное, возможность (с использованием других средств MATLAB) организовывать моделирование стохастических объектов и процессов, в том числе с изменяющимися во времени характеристиками.

Для статистической обработки экспериментальных данных, в программе Matlab имеется возможность импортирования данных, сохраненных в формате данных «Excel» (рисунок 4), что позволяет относительно просто внести результаты измерения из ИВК «Омск-М».

По окончании импортирования в рабочей среде окажется массив с необходимыми для обработки данными.

Используя средства пакета Statistics Toolbox для рассмотренного примера, определены закон распределения и его параметры установившегося отклонения напряжения на шинах 10 кВ:

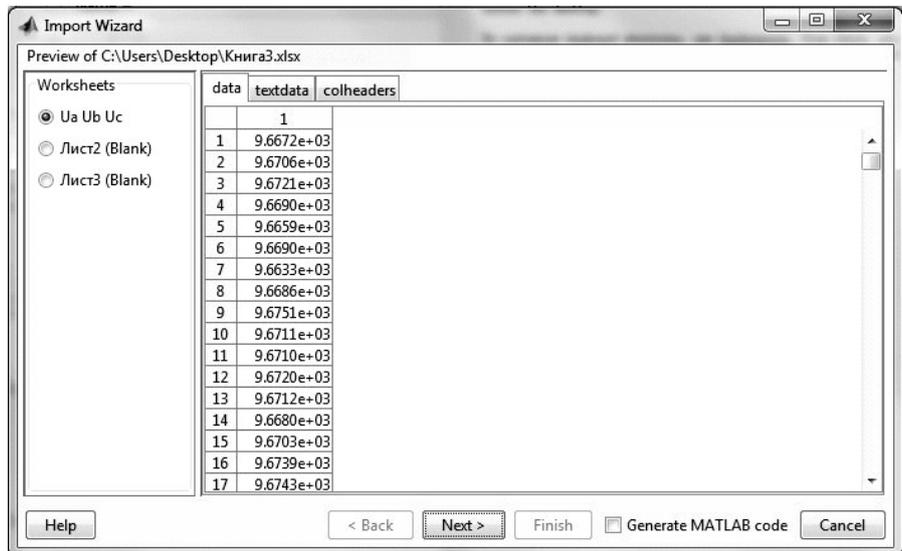


Рисунок 4 – Импорт данных «Excel» в программу «Matlab»

– отклонение напряжения на шинах 10 кВ приблизительно соответствует нормальному закону распределения (рисунок 5);

– математическое ожидание  $M[\bar{U}] = 9665,4$  В;

– среднее квадратическое отклонение  $\sigma = 7,18$  В.

Исходя из выше изложенного, можно сделать следующие выводы:

1 При исследовании электромагнитной обстановки в электрических сетях программное обеспечение современных приборов не позволяет проводить статистический анализ.

2 Большинство современных приборов для измерения показателей качества электроэнергии позволяет экспортировать результаты измерений в формате MS EXCEL.

3 Наиболее широкие возможности для статистического анализа предоставляют программные продукты Statistica 6.0 и Matlab пакет Statistics Toolbox.

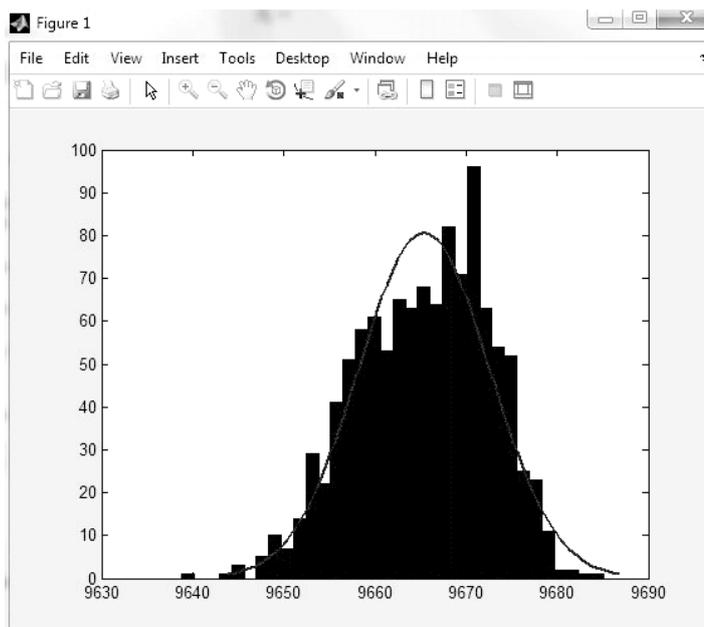


Рисунок 5 – График нормальной плотности вероятности распределения в программе Matlab

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Дьяконов, В. Математические пакеты расширения MATLAB: спец. справ. / В. Дьяконов, Е. Круглов. -СПб.: Питер, 2001. -480 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** статистическая оценка, тяговая подстанция, установившееся отклонение напряжения, электромагнитная обстановка, импорт данных

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Зубанов Дмитрий Александрович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Кудряшов Дмитрий Семенович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Руппель Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент ОИВТ, филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Сидоренко Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент ОИВТ, филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Швецова Анастасия Евгеньевна, ассистент ОИВТ, филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

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

644099, г. Омск, ул. И. Алексеева, 4, ОИВТ, филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ ТЭД В РЕЖИМЕ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОВОЗАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Ш.К. Исмаилов, К.Ф. Трискус, Н.В. Есин, А.С. Талызин

MOTIVATION OF THE USE PARALLEL OF THE JOIN ELECTRIC MOTORS IN MODE RECUPERATION ON ELECTRIC LOCOMOTIVES OF THE DIRECT CURRENT

«Omsk state transport university»

Sh.K. Ismailov, K.F. Triskus, N.V. Esin, A.S. Talizin

In article is brought motivation of the use the parallel join electric motors in mode recuperation on electric locomotive of the direct current and is intended problems in improvement of the systems recuperation.

**Keywords:** electric locomotive, tractive electric motor, parallel join, recuperation, converter

Приведено обоснование использования параллельного соединения ТЭД в режиме рекуперативного торможения на электровозах постоянного тока и намечены задачи в совершенствовании систем рекуперативного торможения.

Электрический подвижной состав (ЭПС) железных дорог должен с высокой степенью надежности обеспечивать безопасность движения поездов и бесперебойное выполнение графика перевозок, что достигается системой плановых осмотров и ремонтов оборудования. Основной задачей всей системы ремонта и обслуживания ЭПС является восстановление работоспособности ЭПС и предупреждение отказов его оборудования в период эксплуатации. От надежности электровозов зависят экономические показатели работы железных дорог России, а также сохранность грузов и жизни людей, поэтому к ЭПС предъявляются жесткие требования по обеспечению быстрой и надежной доставки грузов и пассажиров.

В свою очередь обеспечение устойчивой работы локомотива связано с надежной работой тяговых электродвигателей (ТЭД) и вспомогательных электрических машин (ВЭМ). В частности, от правильной работы преобразователя НБ-436В зависит исправность работы схемы рекуперативного торможения.

Широко известны преимущества рекуперативного торможения. На электрифицированных дорогах России ежегодно возвращается в контактную сеть 3% потребляемой энергии [1].

Вместе с тем необходимо отметить, что надежность преобразователей НБ-436В, установленных на электровозах ВЛ10, ВЛ10к, ВЛ11 остается недостаточно высокой.

Анализ данных статистики отказов, вызвавших плановые и неплановые ремонты электровозов с 2005 по 2009 г., на примере Западно-Сибирской железной дороги, целиком и полностью подтверждает результаты, опубликованные в работе [2]. Из этого анализа видно, что до 75-80% отказов преобразователей составляют электрические пробои, межвитковые замыкания обмоток и повреждение изоляции якоря (таблица). Как правило, эти виды повреждений вызваны чрезмерным перегревом обмотки якоря и существенными токовыми нагрузками.

*Таблица – Статистика отказов и повреждений преобразователей НБ-436В*

Причина отказа	Доля отказов, %
Пробой обмоток якоря	75-80
МВЗ обмоток остова	12
Круговой огонь	3-5
Повреждения МЯП	2-3
Другие причины	3

Таким образом, по мнению авторов, следует обратить серьезное внимание на существующую систему ремонта, настройки и испытаний преобразователей НБ-436В и усовершенствовать систему ремонта, которая позволила бы достичь минимума расхождения нагрузочных характеристик, а следовательно, и обеспечить устойчивую работу локомотива в условиях эксплуатации в режиме рекуперативного торможения, то есть его эффективное использование. В итоге это дает большую экономию электроэнергии, снижение износа бандажей колесных пар вагонов, позволяет обеспечить установленную участковую и техническую скорость, а также безопасность движения поездов, потому что при использовании режима рекуперации пневматические тормоза находятся в резерве в полной готовности к работе.

Как известно, при рекуперации используется групповое соединение ТЭД. К примеру, ТЭД электровоза ВЛ10 могут соединяться: параллельно (П) – по два двигателя последовательно в четыре ветви; последовательно-параллельно (СП) – по четыре двигателя последовательно в две ветви; последовательно (С) – все восемь двигателей электровоза соединяются последовательно.

На каждом из трех соединений ТЭД есть свои особенности работы схемы рекуперации. Известно, что при скоростях движения  $V$  от 55 до 100 км/ч на спуске необходимо применять рекуперацию на П-соединении ТЭД для поддержания оптимального тормозного момента на осях колесных пар. Однако машинисты сравнительно редко применяют такое соединение.

В то же время возврат электроэнергии в контактную сеть (КС) на П-соединении ТЭД весьма велик, а вероятность возникновения юза колесных пар резко снижается [3]. На рисунке изображен пример рекуперации при высокой скорости движения (55-80 км/ч), когда токи, протекающие по обмоткам ТЭД, оказались около 300 А на П-соединении, а, следовательно, суммарный возвращенный ток в КС составил 1200 А. При тех же скоростях движения и тормозной силе  $B_t$ , но на СП-соединении необходимо, чтобы через обмотки якорей ТЭД протекал тот же ток  $I_a = 300$  А. Ведь, как известно, тормозная сила  $B_t$  прямо пропорциональна току якоря  $I_a$

$$B_m = C_B \cdot \Phi \cdot I_a, \tag{1}$$

где  $C_B$  – конструкционная постоянная ТЭД;

$\Phi$  – магнитный поток ТЭД.

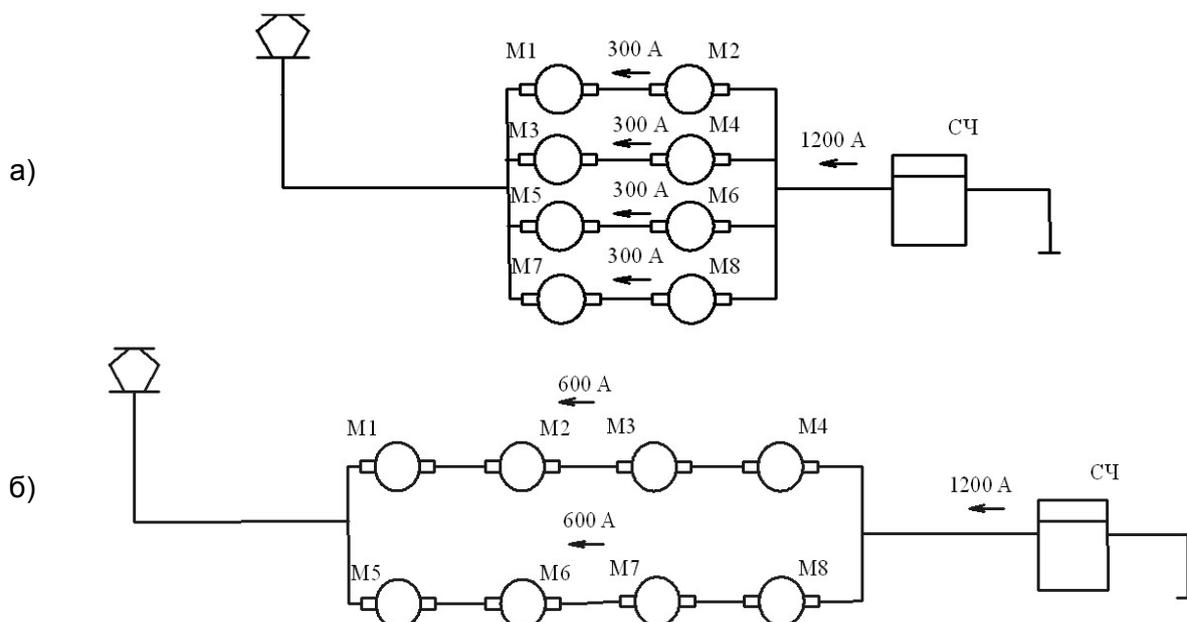


Рисунок – Сравнение величин токов по параллельным ветвям ТЭД в режиме рекуперации на П-соединениях (а) и на СП-соединениях (б)

При этом ток рекуперации (электровоза) на СП-соединении составит всего  $I_p = 600$  А ( $2I_a = 2 \cdot 300$ ), что в два раза меньше, чем на П-соединении ТЭД. Для эффективности режима рекуперации на СП-относительно П-соединения ТЭД, в плане возврата электроэнергии в КС, необходимо, чтобы ток якоря был около 600 А (см. рисунок 2). Тогда общий ток рекуперации (электровоза) на СП-соединении составит 1200 А, но величина тока ТЭД в 600 А близка к значению тока уставки реле перегрузки, которое включается последовательно в цепь каждой двух ТЭД электровоза и составляет  $750 \pm 30$  А [4].

К тому же, вероятность начала юза колесных пар, то есть превышения тормозной силы  $B_t$  над силой сцепления  $F_{сц}$  колеса с рельсом, при рекуперации на СП-соединении ТЭД при токе  $I_a = 600$  А гораздо выше, нежели при П-соединении ТЭД и  $I_a = 300$  А [3]. И даже противовозбуждение возбудителя и циклическая стабилизация не снижают риска начала юза, а, наоборот, повышают его. И только двойной запас по коэффициенту сцепления колес локомотива с рельсами вследствие применения независимого возбуждения ТЭД в режиме рекуперации (при выполнении соотношения  $I_b/I_a = 1/2$  [5]) и пропорциональности тормозного момента производству токов якоря и возбуждения (в отличие от тягового момента, который пропорционален квадрату тока якоря), может исключить юз, при котором теряется электроэнергия, которая могла бы быть возвращена в контактную сеть.

Что же касается тормозной силы –  $B_t$ , то ее можно увеличить на П-соединении ТЭД за счет увеличения тока якоря до 450-500 А и тем самым еще больше повысить отдачу электроэнергии в КС за счет увеличения тока рекуперации электровоза –  $I_p = 1800-2000$  А, что не только экономически выгодно, чем на СП-соединении ТЭД, но и более устойчиво при соблюдении ряда условий.

Почему же тогда машинисты опасаются применять рекуперацию на П-соединении ТЭД, если налицо преимущества этого вида соединения двигателей? В первую очередь имеет определенные особенности сам процесс перехода в рекуперативное торможение. На него может влиять значительное количество факторов [3]. В частности, если есть расхождение электромеханических характеристик ТЭД, то неизбежно возникает неравенство суммарных ЭДС параллельных групп ТЭД, что вызывает протекание некоторого уравнивающего тока по обмоткам возбуждения. В результате возникает значительный небаланс напряжений, и включение двигателей в режим рекуперации будет сопровождаться броском тока.

На процесс перехода электровоза в рекуперацию и на характер распределения токов по параллельным ветвям ТЭД при П-соединении оказывает существенное влияние также и расхождение нагрузочных характеристик преобразователей. Для улучшения распределения токовых нагрузок рекомендуется, чтобы характеристики обоих преобразователей не отлича-

лись друг от друга более чем на 6-8% [3]. Если не настраивать на локомотиве преобразователи по нагрузочным характеристикам, то возможно возникновение разности (небаланса) ЭДС параллельных ветвей ТЭД до 250 В и более (иногда до 500 В), вследствие чего значительно ухудшаются потенциальные условия на коллекторах ТЭД и возникает круговой огонь по коллектору, происходит срыв режима рекуперации.

На расхождение характеристик ТЭД и преобразователей также влияет качество их настройки в депо, в частности, качество установки щеток электрических машин на нейтраль, то есть на линию, в каждой точке которой магнитная индукция главных полюсов равна нулю. А именно, в ТЭД щетки должны быть установлены строго на геометрической нейтрали, так как его якорь вращается в обе стороны, а в преобразователе – на физической нейтрали, вследствие вращения его якоря только в одну сторону. Несмотря на, казалось бы, хорошо продуманную и устоявшуюся систему настройки и испытаний преобразователей в эксплуатации довольно часты случаи срыва рекуперативного торможения вследствие расхождения значительных токов по секциям электровоза, что в свою очередь является причиной расхождения нагрузочных характеристик преобразователей НБ-436В, установленных по одному в каждой секции.

Опытные поездки на электровозах постоянного тока, осуществленные по участку «Московка-Ишим» Западно-Сибирской и Свердловской железных дорог, показали следующие результаты. При следовании электровоза ВЛ10 по затяжному подъему величиной 5,5-8,0‰, расположенному между станциями Малый остров и Шаблыкино, расход электроэнергии на тягу четного поезда весом 4357 т составил 400 кВт·ч. В то же время возврат электроэнергии электровозом с нечетным поездом весом 6967 т, двигавшимся в режиме рекуперации, по этому же участку в обратном направлении по затяжному спуску составил 420 кВт·ч. Причем в качестве вида соединения ТЭД в режиме рекуперации машинистом было применено только СП-соединение ТЭД, в то время как при использовании П-соединения электровоз работал бы устойчивее, и не было бы риска срыва рекуперации и юза колесных пар.

Разумное применение режима рекуперативного торможения, как способа снижения и поддержания установленной скорости при движении по руководящему спуску, позволяет достичь существенной экономии электроэнергии на тягу поезда, что является значительным экономическим аспектом, которому, на наш взгляд не оказывается должного внимания.

Из приведенных рассуждений видно, что от надежности работы преобразователей и качества их настройки зависит устойчивость работы электровоза в режиме рекуперации.

Особый приоритет в области систем рекуперативного торможения должен принадлежать совершенствованию методики и технологии ремонта, испытания и настройки преобразователей НБ-436, а также совершенствованию методов вождения поездов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Осипов, С.И. Основы тяги поездов / С.И. Осипов, С.С. Осипов. -М.: УМК МПС России, 2000. -592 с.
- 2 Статистика повреждений вспомогательных электрических машин электровозов ВЛ10 / Ш.К. Исмаилов [и др.] // Ж.-д. трансп. Сер. Локомотивы и локомотивное хоз-во. Ремонт локомотивов: экспресс-информ. / ЦНИИТЭИ. -1992. -Вып.5/6.
- 3 Тиунов, А.Ф. Рекуперативное торможение на магистральных электровозах постоянного тока / А.Ф. Тиунов, О.И. Тупицын. -М.: Транспорт, 1979. -102 с.
- 4 Кикнадзе, О.А. Электровоз ВЛ10. Руководство по эксплуатации / О.А. Кикнадзе. -М.: Транспорт, 1975. -520 с.
- 5 Исмаилов, Ш.К. Рациональные режимы вождения поездов и коммутационная надежность ТЭД: монография / Ш.К. Исмаилов, В.Г. Шиллер; Ом. гос. ун-т путей сообщ. -Омск, 2006. -189 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электровоз, тяговый электродвигатель, параллельное соединение, рекуперация, преобразователь

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Исмаилов Шафигула Калимуллович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «ОмГУПС»  
Трискус Константин Федорович, аспирант ГОУ ВПО «ОмГУПС»  
Есин Николай Васильевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «ОмГУПС»  
Талызин Александр Сергеевич, ст. преподаватель ГОУ ВПО «ОмГУПС»

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

## ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

Е.П. Зацепин, Ю.А. Шурыгин

### SPECIFIC FEATURES OF EMERGENCY OPERATION IN DISTRIBUTION NETWORKS

«Lipetsk state technical university»

E.P. Zatsepin, Yu.A. Shurygin

Specific features of distribution networks emergency modes are determined based on statistical data.

*Keywords: distribution network, single-phase short circuit, neutral ground conditions, pulse undervoltage*

Проведен анализ статистических данных, на основании которого выявлены особенности аварийных режимов распределительных сетей.

Повышение надежности работы распределительных электрических сетей является важной эксплуатационной задачей, поскольку это позволяет значительно увеличить надежность электроснабжения потребителей. Исследование закономерностей появления и развития аварийных режимов в этих сетях представляется актуальным и своевременным.

На основании анализа статистических данных аварийных режимов в системе электроснабжения ОАО «НЛМК» выявлены следующие особенности. Доля однофазных замыканий от общего числа повреждений составляет 57%, двухфазных – 28%, трехфазных – 15%. При этом в июне, июле и августе общее число замыканий более чем в 2 раза превышает количество соответствующих повреждений в другие месяцы. Эти результаты получены на основании исследований, проводимых с 2005 года, и достоверно отображают существующую проблематику аварийных режимов в сетях данного класса. Преобладающим видом повреждений являются однофазные короткие замыкания на землю (ОЗЗ), что характерно для распределительных электрических сетей. По данным различных источников в общем случае их число может варьироваться в пределах 60-90% от общего количества аварийных ситуаций.

Режим заземления нейтрали в электрических сетях 6-35 кВ значительно влияет на надежность электроснабжения при возникновении ОЗЗ, установившиеся и переходные режимы, а также определяет условия безопасности обслуживающего персонала. В Российской Федерации в этих сетях допускается использовать изолированную или компенсированную нейтраль, за рубежом в сетях среднего напряжения (3-69 кВ) в ряде случаев применяется глухозаземленное исполнение нейтрали. В соответствии с требованиями «Правила эксплуатации электроустановок» [1] при емкостных токах более 10 А в сетях напряжением 35 кВ, 20 А в сетях напряжением 10 кВ, 30 А в сетях напряжением 6 кВ необходимо применять меры по их компенсации. Проблематика выбора режима заземления нейтрали электрических сетей среднего напряжения возникла вследствие опасности перенапряжений при неустойчивых дуговых замыканиях на землю. Научно-исследовательские работы многих авторов посвящены обоснованию и выбору режима заземления нейтрали, отмечается целесообразность резистивного и комбинированного исполнения заземления нейтрали, однако в большинстве распределительных сетей координальные меры по изменению её конфигурации не предпринимаются.

В рассмотренных электрических сетях 6-35 кВ используется как изолированное, так и компенсированное исполнение нейтрали. При изолированном режиме нейтрали зафиксированы дуговые перенапряжения и пробой изоляции на неповрежденных участках сети в случае ОЗЗ. В результате этого возникают междуфазные короткие замыкания и двойные замыкания на землю. Идентификация места повреждения при действии релейной защиты на сигнал возлагается на обслуживающий персонал, что в большинстве случаев представляет сложную задачу. В случае длительного существования ОЗЗ существует опасность поражения током обслуживающего персонала. Компенсированный режим заземления нейтрали, основанный на включении дугогасящего реактора, позволяет минимизировать емкостной ток замыкания на землю. Дугогасящий реактор должен иметь широкий диапазон плавного регулирования индуктивного сопротивления и автоматическую настройку, учитывающую изменение конфигурации электрической сети в процессе эксплуатации. Только при выполнении этих требований в месте повреждения протекает сравнительно малый остаточный ток, от-

существует необходимость в немедленном отключении ОЗЗ, исключается возможность повреждения трансформаторов напряжения вследствие феррорезонансных процессов, а также имеется возможность организации селективной автоматически действующей релейной защиты от ОЗЗ. Тем не менее, даже в этом случае, на практике все же существует проблема организации селективного действия защит, что накладывает некоторые ограничения на применение токовых и токовых направленных защит.

Для решения указанных практических задач аварийный режим следует рассматривать как развивающийся переходный процесс с изменением влияющих параметров в широких пределах. При этом необходимо учитывать вид ОЗЗ. В исследуемых распределительных сетях наблюдались как устойчивые, так и неустойчивые ОЗЗ. При устойчивых замыканиях между землей и фазой имеется надежная гальваническая связь: металлическая связь, переходное сопротивление, устойчиво горящая дуга. В таком аварийном режиме в токах и напряжениях присутствуют только принужденные составляющие промышленной частоты и высших гармоник. Основным и наиболее опасным видом ОЗЗ следует считать неустойчивые дуговые замыкания. Для них характерна прерывистая форма тока с преобладанием свободных составляющих субгармоник, интергармоник и высших гармоник. Неустойчивые ОЗЗ можно подразделить на два типа: однократные самоустраняющиеся пробой изоляции и дуговые прерывистые замыкания. Максимальные значения перенапряжения зависят от условий протекания электромагнитных переходных процессов при замыкании на землю. Первичный пробой изоляции происходит в момент максимума фазного напряжения, а кратность перенапряжений на неповрежденных фазах составляет не более 2,5.

Целесообразно выделить подтип прерывистой дуги – перемежающаяся дуга, для которой свойственны бестоковые паузы, длительность которых не превышает 0,1 с, а погасания и зажигания могут повторяться каждый период или даже полпериода. Перемежающийся характер дугового разряда при ОЗЗ характерен для сетей с изолированной нейтралью, однако такие случаи фиксируются крайне редко. При возникновении перемежающейся дуги кратность перенапряжений на неповрежденных фазах может достигать величины 3,5-3,6. В большинстве случаев перенапряжения не столь значительны, но они распространяются по всей электрической сети вне зависимости от места возникновения ОЗЗ. При этом вероятность перехода однофазного замыкания на землю в двойные или многоместные повреждения существенно возрастает, а действующее значение тока в месте повреждения может увеличиться в несколько раз вследствие влияния свободной составляющей переходного тока. Горение прерывистой дуги сопровождается бестоковыми паузами длительностями в 5-10 периодов, за время которых напряжение смещения нейтрали может восстановиться до приемлемых значений. Это характерно для сетей с компенсированным режимом нейтрали. При прерывистых дуговых замыканиях повторное зажигание дуги происходит через интервалы длительностью более 0,1 с. В этот момент напряжение на неповрежденных фазах приближается к номинальной величине и кратность перенапряжений при повторном пробое лишь незначительно отличается от 2,5. Перенапряжения такой кратности представляют опасность, не только для кабелей с изоляцией, ослабленной вследствие продолжительного срока эксплуатации. В существующих сетях широкое распространение получают кабели с исполнением изоляции из сшитого полиэтилена, которая является более чувствительной к перенапряжениям. Следовательно, перенапряжения представляют опасность и для них, даже в случае незначительного срока использования.

В большинстве случаев последствия аварийных однофазных повреждений рассматриваются только в отношении электрических сетей, на линиях которых произошло повреждение, не смотря на то, что негативное воздействие может также отражаться на функционировании электроприемников, запитанных от напряжений менее 1 кВ. Однако, данный вопрос целесообразно рассматривать комплексно. В результате ОЗЗ в сетях среднего и высокого распределительного напряжения в низковольтных сетях могут возникать провалы напряжения значительной глубины. Это негативно влияет на функционирование отдельных электроприемников, особенно это важно для предприятий с непрерывным технологическим циклом. В результате нарушается технологический процесс, возникает брак продукции, снижается срок службы электрооборудования, что приводит к существенным экономическим убыткам. Указанный аномальный режим возникает при ОЗЗ в распределительных сетях 110 кВ. При возникновении замыкания на питающей линии потребители испытывают полный перерыв электроснабжения. В случае ОЗЗ на смежной линии глубина провала напряжения менее значительна. Так же причиной провалов напряжения в сетях менее 1 кВ могут быть ОЗЗ в

электрических сетях 6-35 кВ переходящие в двойные или междуфазные замыкания.

Выявленные особенности аварийных режимов свидетельствуют о целесообразности рассмотрения их с точки зрения развивающихся переходных процессов, а также необходимости разработки комплекса защитных мероприятий в сетях как высокого, так и низкого напряжения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Правила устройства электроустановок / Минэнерго РФ. -СПб.: ДЕАН, 2004. -464 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *распределительная сеть, однофазное короткое замыкание, режим заземления нейтрали, провал напряжения*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Зацепин Евгений Петрович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «ЛГТУ»  
Шурыгин Юрий Анатольевич, ассистент ГОУ ВПО «ЛГТУ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, ГОУ ВПО «ЛГТУ»*

## **ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И РЕМОНТА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

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, В.В. Бублик, Е.И. Селиванов, О.Д. Юрасов**

**SIMULATION MODELING THE EXISTING SYSTEM DIAGNOSIS AND REPAIR OF TRACTION ELECTRIC MOTORS**

*«Omsk state transport university»*

*Taiga institute of railway transport, branch «Omsk state transport university»*

*Sh.K. Ismailov, O.V. Gatelyuk, V.V. Bublik, E.I. Selivanov, O.D. Yurasov*

The paper presents the simulation models four and five-channel queuing systems traction electric motors and shown that in the real world locomotive depot quality repairs in the planned amounts for the depot is impossible.

*Keywords: simulation model, the traction electric motor, a queuing system, the period of simulation*

Приведены имитационные модели четырех и пяти канальной систем массового обслуживания ТЭД и показано, что в реальных условиях ремонтного депо качественный ремонт в планируемых для депо количествах невозможен.

В работе [1] с использованием статистических и экспериментальных методов оценки качества коммутации тяговых электродвигателей (ТЭД) электровозов ВЛ10 обоснована необходимость внедрения усовершенствованной системы их диагностирования и ремонта. В этой монографии отмечена неидентичность коммутационных циклов в электрических машинах постоянного и пульсирующего тока, выявлен также тот факт, что ТЭД электровоза находятся в неравных условиях эксплуатации, а также обоснована необходимость индивидуального подхода к каждой электрической машине с учетом конкретных условий эксплуатации.

В публикациях авторов изучена традиционная система ремонта ТЭД (представлена на рисунке 1) и отмечены ее серьезные недостатки. С помощью метода имитационного моделирования покажем, что в реальных условиях электровозного депо качественный ремонт в планируемых для депо количествах невозможен.

Основная проблема заключается в том, что часть двигателей возвращается снова в ремонт по условиям коммутации. Такие одноканальные системы массового обслуживания с возвратом при условии простейшего входящего и выходящего потока были исследованы в статье [2]. Было показано, что такие системы работают неустойчиво, если коэффициент возврата, т.е. отношение среднего числа возвращенных снова в систему заявок к общему числу поступивших заявок, больше 0,5.

Однако если рассмотреть ремонт магнитной системы дополнительных полюсов (ДП) ТЭД ТЛ-2К1 электровоза ВЛ-10 как систему массового обслуживания, то, во-первых, поток входящих заявок не является простейшим, во вторых, коэффициент возврата близок к 0,15, в третьих, количество каналов обслуживания заявки равно четырем, в четвертых, время обслуживания заявки подчиняется нормальному распределению с параметрами: математиче-

ским ожиданием  $m = 27,5$  ч и стандартным отклонением  $\sigma = 0,5$  ч, установленными в статье [3].

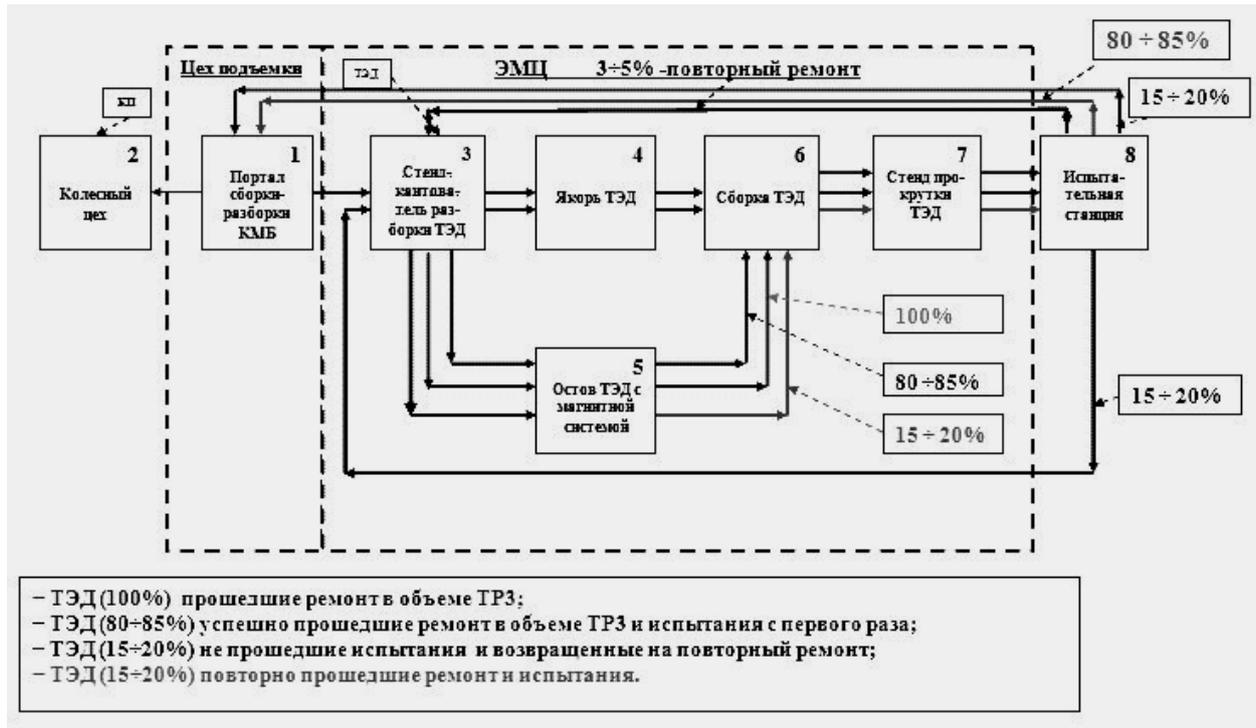


Рисунок 1 – Структурная схема существующей системы ремонта ТЭД

Чтобы получить результат о среднем значении максимально возможного количества отремонтированных магнитных систем двигателей ТЛ-2К1 была создана имитационная модель системы массового обслуживания с указанными выше параметрами. Данная имитационная модель была сделана средствами MS EXCEL.

Была сгенерирована таблица значений нормально распределенной случайной величины  $x$  с плотностью распределения

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right],$$

и с указанными выше параметрами. Для получения одного значения нормально распределенной случайной величины с помощью встроенной в MS EXCEL функции «СЛЧИС» генерируем 12 независимых случайных чисел  $r_1, r_2, \dots, r_{12}$  с математическим ожиданием  $a = 0$  и средним квадратическим (стандартным) отклонением  $\sigma = 1$ . Складывая полученные числа и вычитая из полученной суммы 6, находим искомое значение случайной величины  $x$

$$x_i = \sum_{j=1}^{12} r_j - 6 = S_i - 6. \tag{1}$$

В силу центральной предельной теоремы случайные величины  $x_i$  подчинены нормальному закону с параметрами  $m = 0$  и  $\sigma = 1$ .

Чтобы получить значения нормально распределенной случайной величины с параметрами  $m = 27,5$  ч и  $\sigma = 0,5$  ч, необходимо воспользоваться формулой

$$z_i = \sigma x_i + m. \tag{2}$$

С помощью формул (1) и (2) средства MS EXCEL позволяют разыграть любое необходимое количество значений нормально распределенной случайной величины с указанными выше параметрами. Возвраты ТЭД с нарушением в геометрии магнитных систем на повторный ремонт также моделируются с помощью генератора случайных чисел. Данные, полученные из депо, показывают, что коэффициент возврата близок к 0,15 и имеет свойство статистической устойчивости. Процесс возврата задается формулой EXCEL вида: «ЕСЛИ(Q4<0,85;0;1)». Невозврат ТЭД с нарушениями в ДП магнитной системе электровоза моделируется в соответствующей ячейке числом 0, а возврат – 1, если в ячейке вида Q4 вставлена функция «СЛЧИС». Таким образом, можно промоделировать случайный процесс

возврата ТЭД электровоза на повторный ремонт с вероятностью 0,15 при количестве каналов обслуживания, равном четырем или пяти.

Общее количество отремонтированных, возвращенных и поставленных под электровоз двигателей с отремонтированными магнитными системами ДП ТЭД, вычисляется с помощью специальных счетчиков, помещенных в конце листа EXCEL. Эти количества считались для месяцев, содержащих 31, 30 и 28 дней. Для каждой продолжительности месяца было проделано 100 итераций имитационной модели. Потом

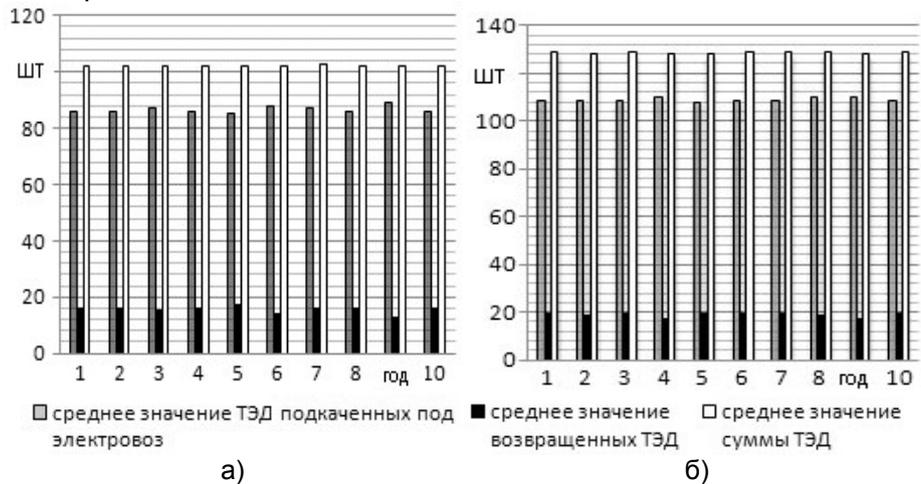


Рисунок 2 – Диаграммы имитационного моделирования ремонта магнитной системы ДП ТЭД за десятилетний период: а) при 4-канальной; б) при 5-канальной системах ремонта

результаты суммировались по месяцам календарного года. Таким образом, были промоделирована работа по ремонту магнитной системы ДП ТЭД на протяжении 10 лет. Полученные результаты выполнения всех итераций имитационной модели изучаемых случайных величин, приведены на рисунке 2а, а и в таблице 1. При вычислении получены следующие показатели работы депо. За 10 лет среднемесячное значение количества ТЭД, поставленных под электровоз, составляет 87 единиц, а среднее значение возвращенных на повторный ремонт, составляет 16 единиц. 99%-й доверительный интервал для количества ТЭД, поставленных под электровоз составляет от 83 до 90 единиц. Этот же интервал для возвращенных в электромашинный цех в целях повторного ремонта составляет от 12 до 19 двигателей. В связи с этим общее количество ТЭД, прошедших ремонт в объеме ТРЗ в месяц за 10-летний период составляет от 94 до 106 двигателей. Поскольку временная продолжительность месяца различная, то и для данных месяцев количество поставленных под электровоз двигателей различаются.

При сравнении имитационной модели с реальным положением дел в депо нужно отметить, что в имитационной модели загрузка каждого из 4 каналов СМО максимально возможная, то есть коэффициент загрузки каждого канала равняется 1, что невозможно осуществить на практике.

Таблица 1 – 4-канальная система ремонта ТЭД

Среднее значение ТЭД	Период моделирования, лет										M(x)	σ(x)	3σ интервал	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Подкаченных под электровоз	86	86	87	86	85	88	87	86	89	86	87	1,12	83	90
Возвращенных	16	16	15	16	17	14	16	16	13	16	16	1,17	12	19
Суммы	102	102	102	102	102	102	103	102	102	102	103	1,02		

Таблица 2 – 5-канальная система ремонта ТЭД

Среднее значение ТЭД	Период моделирования, лет										M(x)	σ(x)	3σ интервал	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Подкаченных под электровоз	109	109	109	110	108	109	109	110	110	109	109	0,63	107	111
Возвращенных	20	19	20	18	20	20	20	19	18	20	19	0,84	16	22
Суммы	129	128	129	128	128	129	129	129	128	129	128	0,52		

В связи с этим рассмотрена имитационная модель пятиканальной системы ремонта ДП двигателей. Основные результаты расчетов, полученных с помощью этой модели, приведены на рисунке 2б и в таблице 2. Среднее значение количества направленных под электровоз ТЭД, составляет 109, что на 22 единицы или на 25% больше, чем при четырех каналах обслуживания двигателей. Возврат ТЭД при этом на повторный ремонт в среднем составля-

ет 19 штук, что всего лишь на 16% больше, чем для ремонта при четырех каналах. Общее количество поставленных под электровоз двигателей с вероятностью 0,99 для 30 дневного месяца составляет от 107 до 111 двигателей, что позволяет депо выполнить плановое задание по выпуску двигателей под электровоз.

Вывод. Имитационная модель показывает, что при существующей системе ремонта магнитной системы ДП ТЭД ТЛ-2К1 электровоза ВЛ-10 для четырех каналов даже при условии максимальной загрузки каждого канала невозможно качественно отремонтировать и поставить под электровоз плановое количество электродвигателей. Поэтому авторами предложена к рассмотрению пятиканальная система ремонта, позволяющая выполнить план без изменения качества ремонта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Исмаилов, Ш.К. Повышение ресурса изоляции электрических машин подвижного состава: монография / Ш.К. Исмаилов; Ом. гос. ун-т путей сообщ. –Омск, 2007. –391 с.

2 Ремонт тяговой электрической машины электровоза как система массового обслуживания / Ш.К. Исмаилов, О.В. Гателюк, Е.И. Селиванов, В.В. Бублик // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. –2009. –№1. –С. 398-402.

3 Применение метода ПЕРТ для математического моделирования ремонта тяговых электродвигателей и колесных пар электровозов ВЛ10 / Ш.К. Исмаилов, О.В. Гателюк, В.В. Бублик, Е.И. Селиванов, А.С. Талызин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. –2009. –№2. –С. 401-404.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** имитационная модель, тяговый электродвигатель, система массового обслуживания, период моделирования

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Исмаилов Шафигула Калимуллович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «ОмГУПС»  
Гателюк Олег Владимирович, канд. физ. -мат. наук, доцент ГОУ ВПО «ОмГУПС»  
Бублик Владимир Васильевич, преподаватель ГОУ ВПО «ОмГУПС»  
Селиванов Евгений Иванович, директор ТИЖТ, филиал ГОУ ВПО «ОмГУПС»  
Юрасов Олег Дмитриевич, студент ГОУ ВПО «ОмГУПС»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ГОУ ВПО «ОмГУПС»  
652401, Кемеровская область, г. Тайга, ул. Молодежная, 13, ТИЖТ, филиал ГОУ ВПО «ОмГУПС»

## **МЕТОДЫ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ И РЕМОНТЕ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОЛЮСОВ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВАЗА**

Тайгинский институт железнодорожного транспорта, филиал  
ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

**Е.И. Селиванов**

**METHODS OF THE NETWORK PLANNING AND MASS SERVICE UNDER DIAGNOSTICS AND REPAIR OF THE MAGNETIC SYSTEM ADDITIONAL POLE TRACTIVE ELECTRIC MOTORS ELECTRO-CARRY**

Taiga institute of railway transport, branch «Omsk state transport university»

E.I. Selivanov

In article is brought motivation of the using the method network planning and control, queuing for estimation of the mean time of the complex of the work on repair additional pole tractive electric motor.

*Keywords: method, additional pole, critical way, reserve, distribution*

Приведено обоснование применения методов сетевого планирования и управления (СПУ) и массового обслуживания (СМО) для оценки среднего времени выполнения комплекса работ по ремонту дополнительных полюсов тягового электродвигателя.

Методы сетевого планирования и управления (СПУ) и массового обслуживания (СМО) – это система методов планирования и управления производством технического диагностирования и ремонта тяговых электродвигателей (ТЭД) путем применения сетевых графиков. Составление сетевых графиков применялось ранее и при ремонте электровозов, но для ор-

ганизации ремонта отдельных узлов, таких как, ТЭД локомотивов, методы СПУ практически не использовались. Это, во-первых, вызвано тем, что при традиционной системе организации ремонта ТЭД применялась схема организации ремонтных работ «по цепочке», то есть следующая работа не начиналась, пока не заканчивалась предыдущая, что в новых экономических условиях не является эффективным. Во-вторых, время выполнения отдельных производственных операций хотя и нормируется, но не является величиной постоянной. Традиционный же метод СПУ, или метод критического пути (МКП), основан на предположении о постоянстве продолжительности каждой операции, что для ремонта дополнительных полюсов (ДП) ТЭД в частности неверно.

Новая система организации технического диагностирования и ремонта магнитной системы ДП ТЭД основана на том, чтобы распараллелить сам процесс и повысить его эффективность, но при этом увеличивается степень колебаний во времени исполнения ремонтных операций, которые необходимо выполнить по соответствующей технологии.

Изучение комплекса работ, связанных с новой системой организации диагностирования и ремонта ДП ТЭД электровоза, показывает, что время выполнения некоторых операций, например, во время перемещения ремонтируемых узлов, испытывают незначительные колебания, однако в новой предлагаемой системе есть некоторые необходимые операции, например, диагностирование с использованием различных приборов, время выполнения которых колеблется. Это показывает, что при создании сетевого графика ремонта того или иного узла необходимо применять соединение двух рассмотренных методов.

Предположим, что  $m$  независимых работ по ремонту ДП выполняется в определенном порядке (пусть для определенности все они лежат на критическом пути сетевого графика). Заметим, что по определению критического пути суммарное время выполнения всех работ на нем равно времени завершения технического диагностирования и ремонта ДП ТЭД электровоза. Пусть  $T_1^*, T_2^*, \dots, T_m^*$  являются сроками, за которые эти работы выполняются. Очевидно, что это случайные величины. В результате наблюдений за временем выполнения технологических операций по ремонту ДП можно найти их выборочные средние  $(\bar{T}_1, \bar{T}_2, \dots, \bar{T}_m)$  и выборочные  $(S_1^2, S_2^2, \dots, S_m^2)$  дисперсии. Поскольку сроки выполнения работ на критическом пути являются величинами случайными, кратчайший срок выполнения всего комплекса работ по диагностированию и ремонту ДП ТЭД  $T^* = T_1^* + T_2^* + \dots + T_m^*$  является также случайной величиной. Если количество независимых работ  $m \rightarrow \infty$ , то величина  $T^*$  распределена по закону, близкому к нормальному с математическим ожиданием (средним)  $\bar{T}$  и дисперсией  $\sigma_T^2$  [1, 2]:

$$\bar{T} = \bar{T}_1 + \bar{T}_2 + \dots + \bar{T}_m; \quad (1)$$

$$\sigma_m^2 = S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_m^2, \quad (2)$$

таким образом, среднее время выполнения комплекса работ равно сумме средних значений времен их выполнения, а дисперсия равна сумме их дисперсий.

Можно предположить, что случайная величина  $T^*$  распределена по нормальному закону, если  $m > 4$ , что, безусловно, верно, так как количество независимых работ по ремонту ДП значительно больше.

Продолжительность некоторых работ по ремонту ТЭД, в целом и отдельных его узлов в частности  $T(i, j)$ , составляющих сетевой график, является случайной величиной, характеризующейся как своим законом распределения, так и его числовыми характеристиками. Основными числовыми характеристиками являются математическое ожидание  $\bar{T}(i, j)$  и дисперсия  $\sigma^2(i, j)$  отклонений случайной величины  $T(i, j)$  от ее математического ожидания  $\bar{T}(i, j)$ .

В задачах СПУ считается, что распределение продолжительности работ имеет свойства непрерывности, унимодальности и положительной асимметрии. Среди распределений с этими тремя свойствами распределений в математической статистике чаще всего используется двухпараметрическое семейство  $\beta$ -распределений с параметрами  $a$  и  $b$  ( $a > 0, b > 0$ ).

При  $0 \leq x \leq 1$ , выражение для плотности  $\beta$ -распределения имеет следующий вид [1, 2]

$$f_{a,b} = \begin{cases} \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a) \cdot \Gamma(b)} x^a (1-x)^b, & \text{если } 0 \leq x \leq 1; \\ 0, & \text{для остальных значений } x. \end{cases} \quad (3)$$

где  $\Gamma(a)$  – гамма-функция,

$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} \exp(-x) \cdot x^{a-1} dx.$$

Для исследования распределения времени одной операции нам понадобятся выражения основных числовых характеристик  $\beta$ -распределения:

– математическое ожидание

$$M(a,b) = \frac{a}{a+b}; \quad (4)$$

– дисперсия

$$D(a,b) = \frac{a \cdot b}{(a+b)^2 \cdot (a+b+1)}; \quad (5)$$

– мода (максимум функции распределения)

$$x_{\text{mod}} = \frac{a-1}{a+b-2}, \text{ при } a > 1 \text{ и } b > 1. \quad (6)$$

Рассмотрим два способа определения числовых характеристик этого распределения для работы  $(i; j)$  по ремонту ДП в электромашинном цехе.

*Первый способ.* На основании опроса технологов депо определяем три временные характеристики выполнения работы  $(i; j)$ :

$t_0(i; j)$  – оптимистическая оценка, то есть минимальная продолжительность работы  $(i; j)$ ;

$t_n(i; j)$  – пессимистическая оценка – максимальная продолжительность работы  $(i; j)$ ;

$t_{\text{нв}}(i; j)$  – наиболее вероятная оценка – продолжительность работы  $(i; j)$  при нормальных условиях.

Последняя (третья) оценка есть время, которое получается чаще всего, если одну и ту же работу повторять большое число раз в одинаковых условиях. Естественно, что выполнено неравенство

$$t_0(i; j) \leq t_{\text{нв}}(i; j) \leq t_n(i; j). \quad (7)$$

После получения временных оценок выполнения каждой операции по ремонту ДП можно приступить к расчетам элементов сетевого графика:

– для каждого события  $i$  – ранний и поздний сроки его свершения, дисперсию этих сроков и резервы времени;

– для каждой работы  $(i; j)$  – математическое ожидание продолжительности ее выполнения  $\overline{t(i; j)}$  и дисперсию  $\sigma^2(i; j)$ .

Как было отмечено ранее, в СПУ продолжительность выполнения работ подчиняется закону  $\beta$ -распределения, а момент завершения всей совокупности работ по ремонту ДП подчинен нормальному распределению. Как показывает формула (3),  $\beta$ -распределение  $\overline{t(i; j)}$  и дисперсия  $\sigma^2(i; j)$  определяются двумя параметрами, но для этого с помощью линейного преобразования переменной по формуле

$$x = \frac{t - t_0(i; j)}{t_n(i; j) - t_0(i; j)}, \quad (8)$$

можно прийти к  $\beta$ -распределению на промежутке  $(0 \leq x \leq 1)$ . Вычисление параметров  $a$  и  $b$  заменяется расчетом величин  $\overline{t(i; j)}$  и  $\sigma^2(i; j)$ .

Из математической статистики известно, что если распределение, сосредоточенное на промежутке  $(0 \leq x \leq 1)$ , является унимодальным, то есть имеет один максимум, то его стандартное отклонение  $\sigma$  может быть грубо оценено числом  $1/6$ . В связи с этим оценка среднего распределения времени выполнения каждого вида работ по ремонту ДП ТЭД, выполненная первым способом может быть вычислена по формуле

$$\overline{t(i; j)} = \frac{t_0(i; j) + 4t_{\text{нв}}(i; j) + t_n(i; j)}{6}, \quad (9)$$

а затем, если требуется, с помощью формулы (8) может быть приведена к отрезку  $(0 \leq x \leq 1)$ .

В результате приведения получаем некоторое значение  $\overline{x(i; j)}$  среднего на отрезке  $(0 \leq x \leq 1)$ .

*Второй способ.* Если провести оценку первым способом затруднительно, параметры  $\beta$ -распределения  $a$  и  $b$  можно определить по методу моментов из системы уравнений

$$\begin{cases} \frac{a}{a+b} = \overline{x(i,j)}; \\ \frac{a \cdot b}{(a+b)^2 (a+b+1)} = \frac{1}{36}. \end{cases} \quad (10)$$

Необходимо отметить, что  $\overline{t(i,j)} = t_{\text{нв}}(i,j)$  в том и только в том случае, когда оптимистическое и пессимистическое времена расположены симметрично относительно наиболее вероятного времени

$$t_n(i,j) - t_{\text{нв}}(i,j) = t_{\text{нв}}(i,j) - t_0(i,j).$$

Таким образом, оценка среднего времени продолжительности операции  $\overline{t(i,j)}$  по ремонту ДП не всегда совпадает с наиболее вероятной ее продолжительностью. Это существенно, так как в соответствии с центральной предельной теоремой полное время ожидаемой серии операций равно сумме их средних, а не наиболее вероятных времен. В случае, когда оценить наиболее вероятное время выполнения работы сложно, можно воспользоваться грубой оценкой для средней продолжительности работы  $(i,j)$ :

$$\overline{t(i,j)} = [2t_0(i,j) + 3t_n(i,j)]/5. \quad (11)$$

Критический путь, ранние и поздние сроки наступления событий по выполнению той или иной операции по ремонту ДП по новому методу корректировки магнитной системы вычисляются так же, как и в МКП.

После определения критического пути, складывая средние значения продолжительности работ, находящихся на нем, получим среднее значение минимального времени выполнения всего комплекса работ по ремонту ДП  $\overline{t_{\text{кр}}} = \sum_{j \in \text{крит}} \overline{t(i,j)}$ . Аналогично, складывая дисперсии вдоль критического пути, получаем критическую дисперсию  $\sigma_{\text{кр}}^2 = \sum_{j \in \text{крит}} \sigma^2(i,j)$ .

В соответствии с условиями центральной предельной теоремы время выполнения всего комплекса работ по техническому диагностированию и ремонту ТЭД подчиняется нормальному распределению, значит, вероятность завершения работ по ремонту ДП ТЭД электровоза к моменту времени  $T$  можно вычислить по формуле

$$P(t_{\text{кр}} \leq T) = \Phi[(T - \overline{t_{\text{кр}}})/\sigma_{\text{кр}}]. \quad (12)$$

Однако нередко события критического пути зависят не только от работ, входящих в критический путь, но и от других работ, имеющих некоторый резерв времени. Это связано с тем, что между одними и теми же событиями критического пути могут находиться как критические, так и некритические работы. Некритические работы, как отмечено выше, имеют резерв времени, поэтому классификацию и группировку работ проводят по величине резерва. Эта информация является информацией второго рода. По величине резерва некоторые работы могут быть приравнены к критическим (малый резерв).

Анализ сетевого графика осуществляется совместно с его оптимизацией, которая позволяет улучшить организацию выполнения комплекса ремонтных работ с учетом установленных технологических нормативов. Проводится оптимизация сетевого графика с целью сокращения длины критического пути, выравнивания коэффициентов напряженности работ, рационального использования ресурсов.

В процессе сокращения продолжительности работ критический путь может измениться, и в дальнейшем процесс оптимизации будет направлен на сокращение продолжительности работ нового критического пути. В идеале длина любого из полных путей может стать равной длине критического пути, тогда все работы будут вестись с равным напряжением, а срок завершения ремонта электрических машин подвижного состава сократится.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ивченко, Г.И. Математическая статистика / Г.И. Ивченко, Ю.И. Медведев. -М.: Высш. шк., 1984. -248 с.
- 2 Чистяков, В.П. Курс теории вероятностей / В.П. Чистяков. -М.: Высш. шк., 2003. -269 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** метод, дополнительный полюс, критический путь, резерв, распределение  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Селиванов Евгений Иванович, директор ТИЖТ, филиал ГОУ ВПО «ОмГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 652401, Кемеровская область, г. Тайга, ул. Молодежная, 13, ТИЖТ, филиал ГОУ ВПО «ОмГУПС»

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕЗКОПЕРЕМЕННОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ПЛАВКРАНА КПЛ 667 НА КАЧЕСТВО НАПРЯЖЕНИЯ В БЕРЕГОВОЙ СЕТИ 0,4 кВ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Омский институт водного транспорта, филиал ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Ю.М. Денчик, П.А. Дзюба, Д.А. Зубанов, В.И. Клеутин, А.А. Руппель, А.А. Сидоренко

STATISTICAL EVALUATION OF THE INFLUENCE OF VARIABLE MODE FLOATING CRANE KPL 667 FOR VOLTAGE QUALITY IN THE COAST NETWORK 0,4 KW

«Novosibirsk state academy of water transport»

Omsk institute of water transport, branch «Novosibirsk state academy of water transport»

Ju.M. Denchik, P.A. Dzyuba, D.A. Zubanov, V.I. Kleutin, A.A. Ruppel, A.A. Sidorenko

Experimental researches of indicators of quality of the electric power in a coastal electric network 0,4 kV are executed at a food from coast. Statistical processing of results of experiment is spent.

*Keywords: indicators of power quality, conducted emissions, floating crane, the statistical processing*

Выполнены экспериментальные исследования показателей качества электроэнергии в береговой электрической сети 0,4 кВ при питании с берега. Проведена статистическая обработка результатов эксперимента.

В качестве объекта исследования был выбран плавкран КПЛ-667 принадлежащий ООО «Сибречфлот» г. Омск, работающий на разгрузке песка с барж на берег. Добыча песка производится в 30 км от места разгрузки, погрузка барж осуществляется гидрорегрузателем. Время доставки песка с места погрузки до места разгрузки составляет в среднем от 8 до 9 ч. Таким образом, песок добывается с одного места и имеет примерно одинаковую структуру и влажность. В качестве грузозахватного приспособления используется грейфер грузоподъемность 2,8 м<sup>3</sup>, грузоподъемность крана 5 т. С учетом массы грейфера, структуры и влажности песка, а также степени наполнения грейфера нагрузка на кран составляет от 80 до 90% расчетной грузоподъемности, 40% воздействия ветровой расчетной нагрузки. При выполнении экспериментальных исследований неравномерность нагрузок, зависящая от перечисленных факторов, не учитывается.

Район разгрузки характеризуется четко выраженной розой ветров с преобладанием ветра в юго-западном направлении 80% времени от навигационного периода и силой ветра от 6 до 12 м/с.

Цель исследований. Экспериментальная проверка влияния работы электроприводов порталных и плавкранов на показатели качества электроэнергии (ПКЭ) в электрических сетях береговых объектов при питании с берега.

Методика испытаний. Для определения времени цикла и времени технологических операции погрузо-разгрузочных работ параллельно измерениям ПКЭ выполнялась видеосъемка работы крана. Впоследствии при обработке данных на ПЭВМ определялось время и последовательность технологических операции (рису-



Рисунок 1 – Определение последовательности и времени технологических операций по видеозаписи

нок 1). Результаты измерений группировались, выделялись наиболее характерные нагрузки и обрабатывались статистическими методами.

Измерения выполнялись в трех точках: на шинах плавкрана на соответствие требованиям правил для судов внутреннего плавания Российского Речного Регистра (ПСВП РРР) [1], на шинах РУ береговой сети и на шинах подстанции на соответствие требованиям ГОСТ 13109-97 [2]. Использовалось три канала для измерения напряжения и три канала для измерения тока (рисунок 2-4). Экспериментальные исследования выполнялись в течение двух дней 15.08.2010 г. и 17.08.2010 г. Ветер в районе разгрузки имел юго-западное направление и сила ветра составляла 8 м/с. (Данные приборов безопасности КПЛ-667).

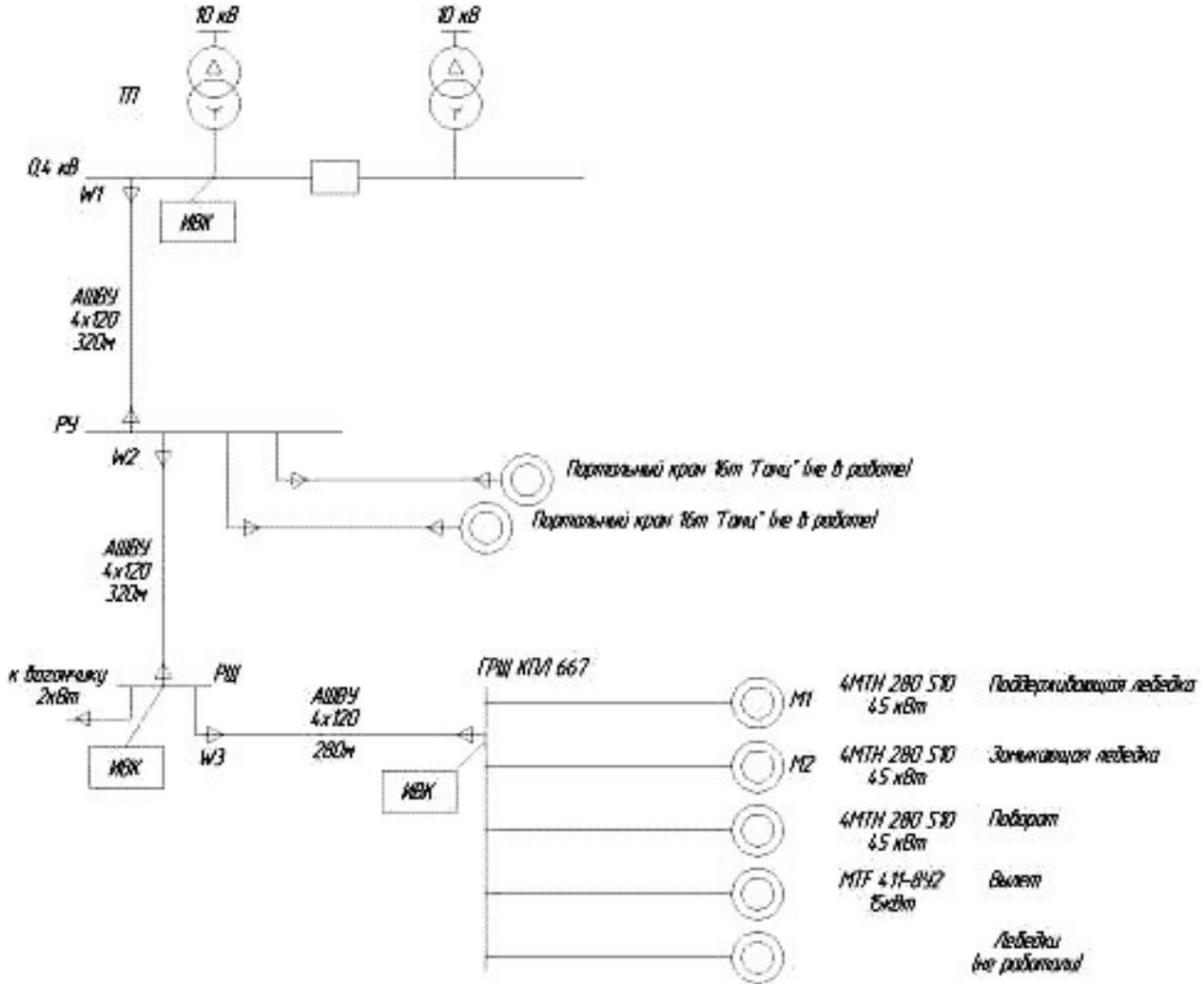


Рисунок 2 – Схема подключения КПЛ-667 к береговой сети

Измерения проводились прибором «Омск-М», заводской номер №42, год выпуска 2009 г.

Результаты измерений. Измерения выполнены в соответствии с РД 153-34.0-15.501-00 [3]. При измерении ПКЭ ИВК «Омск-М» зафиксировано нарушение требований ГОСТ 13109-97 в электрической сети 0,4 кВ предприятия по нормально и предельно допустимому отклонению напряжения и провалам напряжения. Однако данная методика фиксирует

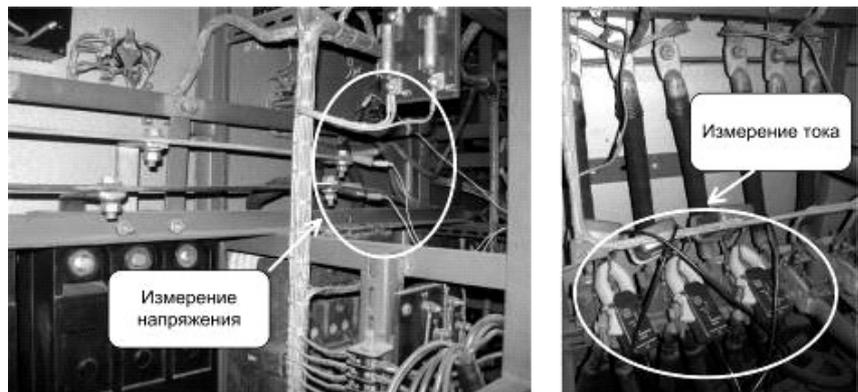


Рисунок 3 – Подключение ИВК «Омск-М» к шинам КПЛ-667

факт нарушения ПКЭ, но не дает информации, необходимой для определения параметров подключения плавкрана к береговой сети. В частности не определена вероятность появления кондуктивной электромагнитной помехи в связи с технологическим процессом ППР.

Для определения вероятности появления кондуктивных ЭМП при подключении КПЛ-667 к береговой сети 0,4 кВ. Предлагается выделить характерный цикл работы крана, определить параметры ПКЭ для наиболее характерных циклов работы, что обеспечит высокую степень достоверности экспериментальных данных (рисунок 5). Отклонения в нагрузках имеющие нехарактерный график для цикла технологических операций вызваны нарушением технологического процесса или выполнением вспомогательных операций во время ППР. Эти отклонения не превышают 2% времени ППР и в дальнейшем учитываться не будут. В течение выполнения ППР по разгрузке одной баржи грузоподъемностью 1000 т. при раздельной работе механизмов плавкрана время нагрузки в среднем от 21 до 23 ч непрерывной работы и от 16 до 18 ч при совместной работе механизмов, при этом совершается от 220 до 225 циклов работы с расчетным временем цикла 36 и 26 с соответственно.

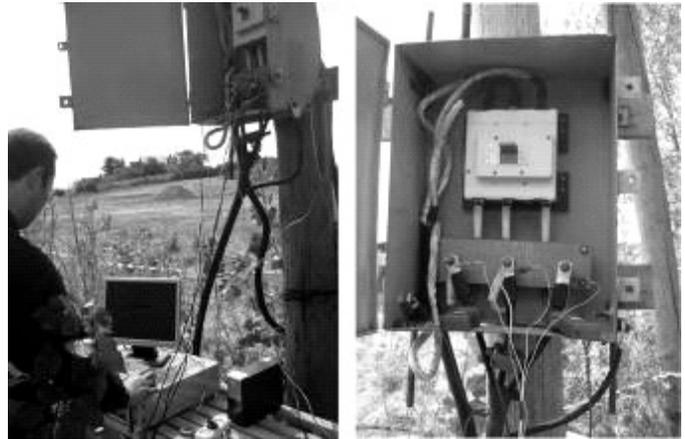


Рисунок 4 – Измерение ПКЭ с помощью ИБК «Омск-М» в береговой сети ООО «Селена»

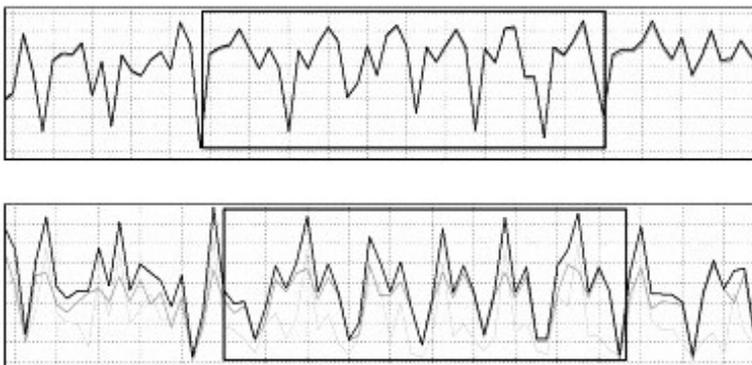


Рисунок 5 – Выделение характерных циклов работы крана на графике нагрузок

Анализ графиков нагрузок (рисунок 6) показал, что время цикла характеризуется математическим ожиданием 36 с и дисперсией 6 с, Таким образом 95% измерений находится в пределах  $36 \pm 18$  с., что соответствует расчетному времени цикла и достаточно точно характеризует нагрузки крана в течение одного цикла.

Из графика нагрузок было выделено 100 характерных циклов продолжительностью 36 с. наиболее точно соответствующих заданным условиям для последующей статистической обработки.

В границах одного цикла определено установившееся значение напряжения (рисунок 6).

В границах одного цикла определено установившееся значение напряжения (рисунок 6).

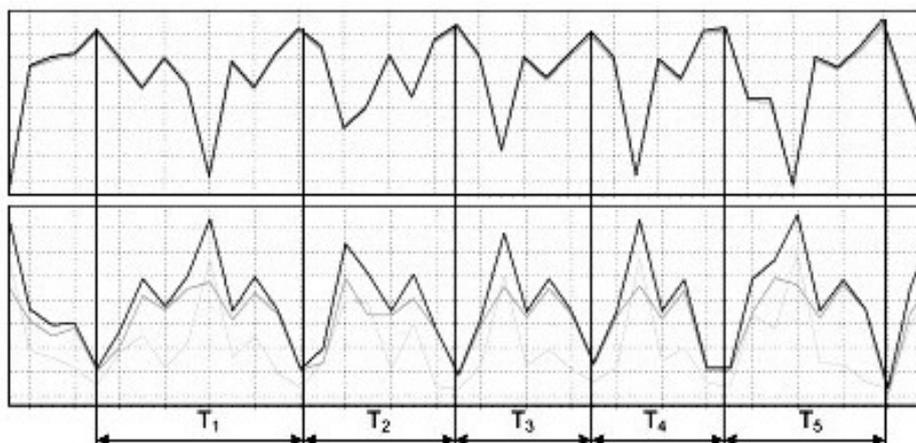


Рисунок 6 – Определение времени цикла и времени технологических операций

Учитывая особенности записи ИВК «Омск-М» измеренных значений напряжения, тока и мощности и времени цикла данные измерений сгруппировано в пределах шести интервалов. На каждом временном интервале равном 6 с в расчет взято усредненное в соответствии с требованиями ГОСТ 13109-97 значение, вычисленное ИВК «Омск-М». С учетом числа циклов общее число измерений подлежащих статической обработке равно 600.

Результаты статистической обработки измерений. Для статистической обработки результатов измерения использовалась программа Statistica 6.0. С её помощью определен закон распределения и его параметры, вероятность кондуктивной ЭМП по установившемуся отклонению напряжения на шинах ГРЩ КПЛ-667:

– отклонение напряжения на шинах ГРЩ КПЛ-667 соответствует нормальному закону распределения;

– математическое ожидание  $M[\bar{U}] = 366,9$  В;

– среднеквадратическое отклонение  $\sigma = 28,9$  В.

Определен закон распределения и его параметры, вероятность кондуктивной ЭМП по установившемуся отклонению напряжения на шинах подстанции на соответствие ГОСТ 13109-97 [2, 4, 5].

Вероятность попадания  $\delta U_H$  в пределы (от  $\pm 5\% U_H$  до  $\pm 10\% U_H$ )

$$P(\delta U_{H,\delta}) = P(0,9U_H \leq \delta U_H \leq 0,95U_H) + P(1,05U_H \leq \delta U_H \leq 1,15U_H) - 2 \cdot 0,05 = 0,27 + 0 - 0,1 = 0,17.$$

Вероятность попадания  $\delta U_H$  в пределы (от  $\pm 10\% U_H$  до  $\pm \infty$ )

$$P(\delta U_{H,\delta}) = P(\infty < \delta U_H < 0,9U_H) + P(1,1U_H < \delta U_H < \infty) = 0,205 + 0 = 0,205.$$

Таким образом, в электрической сети 0,4 кВ наблюдаются кондуктивная ЭМП  $\delta U_H$ . Вероятность появления этой  $\delta K_U$  составляет

$$P(\delta U_H) = P(\delta U_{H,\delta}) + P(\delta U_{H,\delta}) = 0,17 + 0,205 = 0,375.$$

Определен закон распределения и его параметры, вероятность кондуктивной ЭМП по установившемуся отклонению напряжения на шинах подстанции на соответствие в соответствии с требованиями ПСВП РРР [1, 5]:

– выхода за верхнюю границу длительно допустимого напряжения (+6% от  $U_H$ )

$$P(1,15 \leq \delta U_H \leq \infty) = 0;$$

– выхода за нижнюю границу длительно допустимого напряжения (-10% от  $U_H$ )

$$P(\infty \leq \delta U_H \leq 0,9) = 0,5.$$

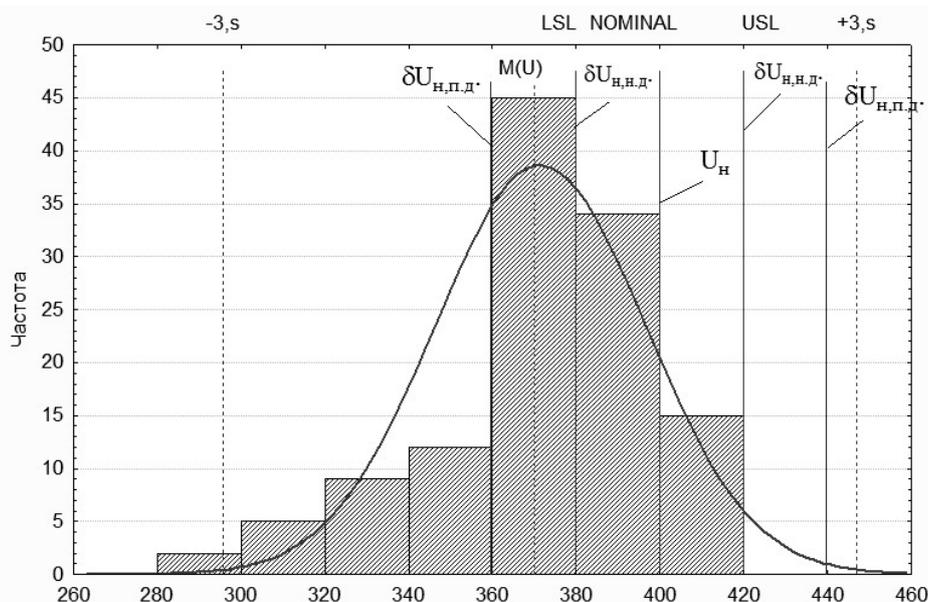


Рисунок 7 – График нормальной плотности вероятности распределения  $\varphi(\delta U_H; 371,4; 25,2)$  совмещенный с нормируемыми значениями уровней ЭМС в электрической сети 0,4 кВ в соответствии с требованиями ГОСТ 13109-97

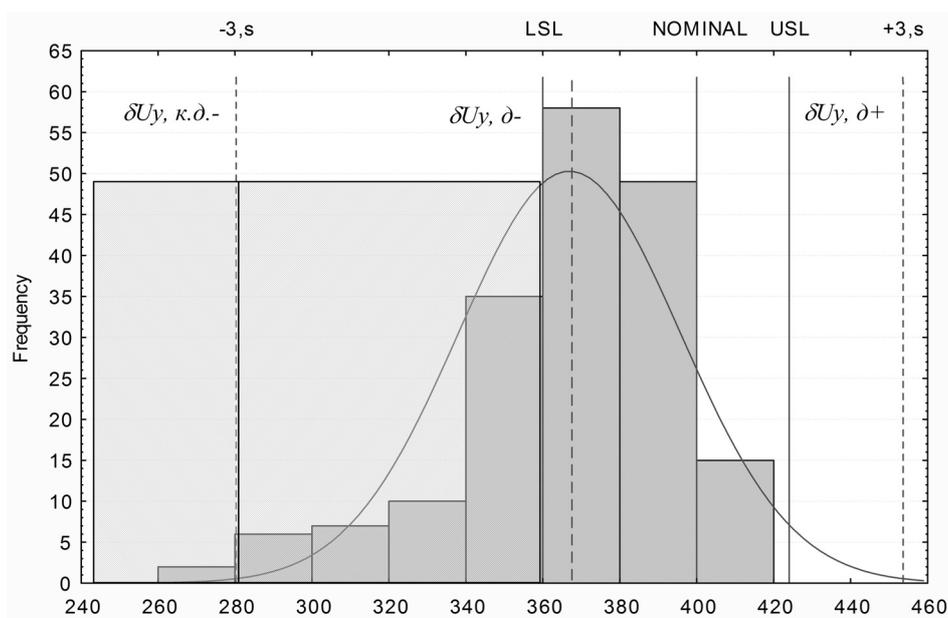


Рисунок 8 – График нормальной плотности вероятности распределения  $\varphi(\delta U_n; 367; 28,9)$  совмещенный с нормируемыми значениями уровней ЭМС в электрической сети 0,4 кВ в соответствии с требованиями ПСВП РРР

На рисунке 8 значения ниже 280 В (-30% от  $U_n$ ) свидетельствуют о наличии кондуктивной ЭМП по кратковременно допустимому отклонению напряжения  $P(\infty \leq \delta U_{н,к.д} \leq 0,7) = 0,215$ . Эти значения также находятся в зоне определяемом ПСВП РРР как провал напряжения  $\delta U_{н,д}$ .

Таким образом, в электрической сети 0,4 кВ наблюдаются значительные отклонения установившегося отклонения напряжения. Кондуктивная ЭМП формируется значениями  $\delta U_{н,д}$ . Вероятность появления этой  $\delta U_{н,д}$  составляет

$$P(\delta U_{н,д}) = P(\infty < \delta U_n < 0,7U_n) + P(1,15U_n \leq \delta U_n \leq \infty) = 0,5 + 0 = 0,5.$$

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- в береговой сети 0,4 кВ установлена кондуктивная ЭМП по установившемуся отклонению напряжения;
- вероятность появления кондуктивной ЭМП в соответствии с требования ГОСТ 13109-97 по установившемуся отклонению напряжения составляет  $P(\delta U_n) = 0,375$ ;
- вероятность появления кондуктивной ЭМП в соответствии с требования ПСВП РРР по установившемуся отклонению напряжения составляет  $P(\delta U_n) = 0,5$ ;
- дальнейшая эксплуатация электрооборудования может привести к выходу его из строя и должна быть приостановлена до момента пока ПКЭ не будут соответствовать нормативным значениям.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Российский Речной Регистр. Правила. В 4 т. Т.3. Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания (ПСВП). Ч.2. Энергетические установки и системы. Ч.3. Судовые устройства и снабжение. Ч.4. Электрическое оборудование, средства радиосвязи, навигационное оборудование / отв. за вып. Н.А. Ефремов. -М.: Рос. Реч. Регистр, 2009. -454 с.

2 ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Введ. 01-07-1997. -М.: Госстандарт России, 1998. -56 с.

3 РД 153-34.0-15.501-01. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -М.: Энергия, 2001. -190 с.

4 Боровиков, В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов / В. Боровиков. -СПб.: Питер, 2001. -688 с.

5 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.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** показатели качества электроэнергии, кондуктивная помеха, плавкран, статистическая обработка

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Дзюба Павел Анатольевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Зубанов Дмитрий Александрович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Клеутин Владислав Иванович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Руппель Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент ОИВТ, филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Сидоренко Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент ОИВТ, филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

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

644099, г. Омск, ул. И. Алексеева, 4, ОИВТ, филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

## АНАЛИЗ РАСПОЛОЖЕНИЯ ФАЗ ДВУХЦЕПНОЙ ЛИНИИ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЙ В ФАЗНЫХ КООРДИНАТАХ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

**Б.А. Анохин**

**ANALYSIS OF THE LOCATION OF THE PHASE DOUBLE CIRCUIT LINES BASED ON EQUATIONS IN PHASE COORDINATES**  
«Novosibirsk state technical university»

B.A. Anokhin

Based on the equations in phase coordinates can be analytically solved the problem of optimizing the location of the phases in the double-circuit overhead line support. Suggested that the optimal location of the phases in terms of link capacity.

*Keywords: double-circuit overhead line, location of the phases, equations in phase coordinates*

На основе уравнений в фазных координатах аналитически решена задача оптимизации расположения фаз на двухцепной опоре воздушной линии. Предложено оптимальное расположение фаз с точки зрения пропускной способности линии.

Преимущества двухцепных воздушных линий как средних, так и высших классов напряжения, по сравнению с одноцепными воздушными линиями соответствующих классов напряжения в основном определяются:

- организацией резервированного питания особо ответственных потребителей (при выходе из строя одной цепи питания объекта осуществляется по оставшейся в эксплуатации второй цепи);

- уменьшением полосы отчуждения при строительстве ВЛ определенной мощности по сравнению со строительством одноцепных ВЛ;

- уменьшение затрат на строительство линии, по сравнению с вариантом сооружения двух взаиморезервируемых одноцепных линий (особо актуально в стесненных условиях и при высокой стоимости земельных участков).

К одному из преимуществ двухцепной ВЛ также можно отнести эффект дополнительного увеличения пропускной способности, за счет более полной компенсации потягосцеплений фаз по прямой последовательности, и как следствие уменьшение продольного сопротивления линии.

На рисунке 1 приведена характерная конструкция двухцепной опоры.

Установившийся режим в шестипроводной линии описывается в общем случае следующей системой дифференциальных уравнений:

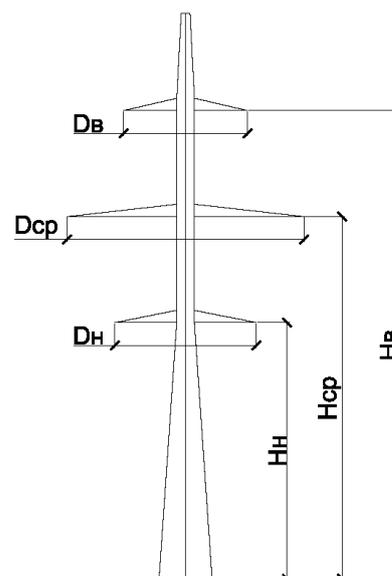


Рисунок 1 – Стальная двухцепная опора

$$\begin{cases} -\frac{dU_x}{dx} = Z_6 \cdot I_x; \\ -\frac{dI_x}{dx} = Y_6 \cdot U_x \end{cases}; \quad (1)$$

$$U_x = (U_{a1x} \ U_{b1x} \ U_{c1x} \ U_{a2x} \ U_{b2x} \ U_{c2x})^T; I_x = (I_{a1x} \ I_{b1x} \ I_{c1x} \ I_{a2x} \ I_{b2x} \ I_{c2x})^T;$$

$$Z_6 = (Z_{i,j})_{i=1,j=1}^{6,6}; Y_6 = (Y_{i,j})_{i=1,j=1}^{6,6},$$

где  $Z_{i,j}$  – собственное сопротивление  $i$ -й фазы,

$$Z_{i,i} = r_i + r_3 + j \cdot \omega \cdot L_{i,i};$$

$Z_{i,j}$  – взаимное сопротивление между  $i$ -й и  $j$ -й фазами,

$$Z_{i,j} = r_3 + j \cdot \omega \cdot L_{i,j};$$

$Y_{i,i}$  – собственная проводимость  $i$ -й фазы,

$$Y_{i,i} = g_i + j \cdot \omega \cdot C_{i,i};$$

$Y_{i,j}$  – взаимная проводимость между  $i$ -й и  $j$ -й фазами,

$$Y_{i,j} = g_{i,j} + j \cdot \omega \cdot C_{i,j};$$

$r_3$  – активное сопротивление земли.

Решение системы дифференциальных уравнений (1) в фазных координатах является затруднительным. Переход к модальным координатам позволяет получить систему уравнений относительно несвязанных между собой переменных [1].

Система уравнений (1) приводится к уравнению второго порядка относительно тока или напряжения

$$-\frac{d^2 U_x}{dx^2} - Z_6 \cdot Y_6 \cdot U_x = 0. \quad (2)$$

или

$$-\frac{d^2 I_x}{dx^2} - Y_6 \cdot Z_6 \cdot I_x = 0. \quad (3)$$

Произведение матриц  $Z_6 \cdot Y_6$  представляет собой матрицу квадратов коэффициентов распространения линии

$$Z_6 \cdot Y_6 = \gamma_{i,j}^2,$$

где  $i = 1...6; j = 1...6$ .

Из теории матриц следует, что матрицы  $Z_6 \cdot Y_6$  и  $Y_6 \cdot Z_6$  приводится к диагональному виду при помощи матрицы собственных векторов  $S$

$$\gamma_m^2 = S^{-1} \cdot Z \cdot Y \cdot S = S_T \cdot Y \cdot Z \cdot S_T^{-1} = \begin{pmatrix} \gamma_1^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \gamma_2^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \gamma_3^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \gamma_4^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma_5^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma_6^2 \end{pmatrix}.$$

Современная вычислительная техника позволяет без труда получить преобразующую матрицу  $S$  [2].

Уравнения (2) и (3) после преобразования примут вид

$$\frac{d^2 U_{mx}}{dx^2} - \gamma_m^2 \cdot U_{mx} = 0, \quad (3)$$

или

$$\frac{d^2 I_{mx}}{dx^2} - \gamma_{mT}^2 \cdot I_{mx} = 0, \quad (4)$$

где  $U_{mx} = S^{-1} \cdot U_x; I_{mx} = S_T \cdot I_x$ .

В результате для каждой модальной переменной имеет место решение аналогичное решению для однопроводной линии

$$\begin{cases} U_{vo} = U_{vn} \cdot \operatorname{ch}(v_v \cdot l) + I_{vn} \cdot Z_{vw} \cdot \operatorname{sh}(v_v \cdot l); \\ I_{vo} = \frac{U_{vn} \cdot \operatorname{sh}(v_v \cdot l)}{Z_{vw}} + I_{vn} \cdot \operatorname{ch}(v_v \cdot l), \end{cases} \quad (5)$$

где  $\nu$  – соответствующая мода;

$U_{\nu o}, U_{\nu n}, I_{\nu o}, I_{\nu n}$  – режимные параметры на соответственно отправном и приемном концах линии для  $\nu$ -й моды;

$\nu, Z_{\nu w}$  – коэффициент распространения и волновое сопротивление  $\nu$ -й моды;

Перепишем уравнения (5) для  $\nu$ -й моды в виде уравнений четырехполюсника

$$\begin{cases} U_{\nu o} = A_{\nu} U_{\nu n} + B_{\nu} I_{\nu n}; \\ I_{\nu o} = C_{\nu} U_{\nu n} + D_{\nu} I_{\nu n}, \end{cases} \quad (6)$$

где  $A_{\nu} = \text{ch}(\nu_{\nu} \cdot l); B_{\nu} = Z_{\nu w} \cdot \text{sh}(\nu_{\nu} \cdot l); C_{\nu} = \frac{\text{sh}(\nu_{\nu} \cdot l)}{Z_{\nu w}}; D_{\nu} = \text{ch}(\nu_{\nu} \cdot l).$

Тогда коэффициенты многополюсника, определяемого системами уравнений (5) будут иметь вид:

$$A_{m6} = \begin{pmatrix} A_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & A_6 \end{pmatrix}; B_{m6} = \begin{pmatrix} B_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & B_6 \end{pmatrix}; C_{m6} = \begin{pmatrix} C_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & C_6 \end{pmatrix}; D_{m6} = \begin{pmatrix} D_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & D_6 \end{pmatrix}.$$

После перехода от модальных координат к фазным имеем

$$\begin{cases} U_o = A_6 U_n + B_6 I_n; \\ I_o = C_6 U_n + D_6 I_n, \end{cases} \quad (7)$$

где  $A_6 = S \cdot A_{m6} \cdot S^{-1}; B_6 = S \cdot B_{m6} \cdot S_T; C_6 = S_T^{-1} \cdot C_{m6} \cdot S^{-1}; D_6 = S_T^{-1} \cdot D_{m6} \cdot S_T.$

При решении ряда задач, в том числе при определении пропускной способности линии, целесообразно преобразовать полученные уравнения для двухцепной линии в случае параллельной работы цепей к эквивалентным уравнениям для одноцепной линии. Для трехфазного эквивалента уравнения будут иметь следующий вид

$$\begin{cases} U_{o3} = A_3 U_{n3} + B_3 I_{n3}; \\ I_{o3} = C_3 U_{n3} + D_3 I_{n3}, \end{cases} \quad (8)$$

Из первого уравнения системы (7) получим

$$I_n = B_6^{-1} \cdot U_o - B_6^{-1} \cdot A_6 \cdot U_n. \quad (9)$$

Введем обозначения:

$$Y_1 = B_6^{-1} = \begin{bmatrix} Y_{1nn} & Y_{1ln} \\ Y_{1ln} & Y_{1nn} \end{bmatrix}; Y_2 = B_6^{-1} \cdot A_6 = \begin{bmatrix} Y_{2ln} & Y_{2nn} \\ Y_{2nn} & Y_{2nn} \end{bmatrix},$$

где  $Y_{1ln}, \dots, Y_{2nn}$  – соответствующие подматрицы 3-го порядка.

Тогда уравнение (8) можно переписать следующим образом

$$\begin{pmatrix} I_{1n} \\ I_{2n} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{1ln} & Y_{1ln} \\ Y_{1ln} & Y_{1nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_{1o} \\ U_{2o} \end{pmatrix} - \begin{bmatrix} Y_{2ln} & Y_{2nn} \\ Y_{2nn} & Y_{2nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_{1n} \\ U_{2n} \end{pmatrix},$$

$$I_{1n} = (I_{a1n} \ I_{b1n} \ I_{c1n})^T; I_{2n} = (I_{a2n} \ I_{b2n} \ I_{c2n})^T; U_{1n} = (U_{a1n} \ U_{b1n} \ U_{c1n})^T;$$

$$U_{2n} = (U_{a2n} \ U_{b2n} \ U_{c2n})^T; U_{1o} = (U_{a1o} \ U_{b1o} \ U_{c1o})^T; U_{2o} = (U_{a2o} \ U_{b2o} \ U_{c2o})^T.$$

Аналогично для второго уравнения системы (7) имеем:

$$Y_3 = D_6 \cdot B_6^{-1} = \begin{bmatrix} Y_{3ln} & Y_{3ln} \\ Y_{3ln} & Y_{3nn} \end{bmatrix}; Y_4 = C_6 - D_6 \cdot B_6^{-1} \cdot A_6 = \begin{bmatrix} Y_{4ln} & Y_{4ln} \\ Y_{4ln} & Y_{4nn} \end{bmatrix}.$$

При параллельном соединении цепей имеют следующие граничные условия:

$$U_{1n} = U_{2n} = U_{n3}; U_{1o} = U_{2o} = U_{o3};$$

$$I_{n3} = I_{1n} + I_{2n}; I_{o3} = I_{1o} + I_{2o}.$$

Тогда с учетом (9) имеем:

$$A_3 = Y_{1\Sigma}^{-1} \cdot Y_{2\Sigma}; B_3 = Y_{1\Sigma}^{-1}; C_3 = Y_{4\Sigma} + Y_{3\Sigma} \cdot Y_{1\Sigma}^{-1} \cdot Y_{2\Sigma}; D_3 = Y_{3\Sigma} \cdot Y_{1\Sigma}^{-1}.$$

О пропускной способности линии, можно судить по матрице продольных сопротивлений  $Z_3$ , равной  $Z_3 = B_3$ .

Для оценки пропускной способности линии по прямой последовательности необходимо найти взаимное сопротивление линии по прямой последовательности  $Z_{on}$ . Преобразуя матрицу сопротивлений к симметричным составляющим. Тогда имеем

$$Z_{3сим} = S_{сим}^{-1} \cdot Z_3 \cdot S_{сим},$$

где

$$S_{\text{сум}} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{pmatrix}; a = \exp\left(j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3}\right).$$

Первый диагональный элемент матрицы  $Z_{\text{сум}}$  представляет сопротивление линии прямой последовательности  $Z_{\text{оп}}$ .

Поскольку предел пропускной способности обратно пропорционален величине взаимного сопротивления, то по соотношениям величин  $Z_{\text{оп}}$  для разных вариантов размещения фаз на опоре, можно выбрать вариант с наибольшей пропускной способностью, то есть с наименьшим  $Z_{\text{оп}}$ .

На основе полученной модели выполнен анализ и предложено оптимальное расположение фаз для двухцепной линии 220 кВ.

В расчете принято  $H_B = 26,5$  м;  $H_C = 20,5$  м;  $H_H = 14,5$  м;  $D_B = 7$  м;  $D_C = 13,4$  м;  $D_H = 8$  м (см. рисунок 1), марка провода линии АС 300/39, длина линии 200 км.

Предложены три варианта расположения фаз на опоре (рисунок 2): вариант 1 – традиционное расположение; варианты 2 и 3 – варианты с чередованием фаз. Для вариантов 2 и 3 расположение фаз выбрано таким образом, чтобы разноименные фазы 1-й и 2-й цепи находились на ближайшем расстоянии.

Результаты расчета для каждого из вариантов показали, что более предпочтительным является варианты 2 и 3. Вариант 1 имеет наименьшую пропускную способность. Результаты расчета

приведены в таблице. Уменьшение сопротивления линии токам прямой последовательности по вариантам 2 и 3 составило около 10% по сравнению с вариантом 1.

Таблица – Оценка пропускной способности двухцепной линии в зависимости от взаимного расположения фаз цепей

Показатель	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Модуль взаимного сопротивления линии по прямой последовательности, Ом	39,81	35,94	35,94
Соотношение пропускной способности для разных вариантов, %	100,0	90,3	90,3

Варианты 2 и 3 с точки зрения пропускной способности оказались равнозначными. Однако, если принять во внимание тот факт, что при ударе молнии в опору напряжение на опоре по высоте распределяется неравномерно (при хорошей проводимости грунта наибольшие уровни перенапряжений наблюдаются в верхней части опоры, т.е. приходится на верхние траверсы, в случае плохой проводимости грунта наибольшие перенапряжения приходятся на нижние траверсы [3]), в целях исключения перекрытия на обе цепи линии, на верхних и нижних траверсах рекомендуется расположить фазы одной цепи.

**Заключение.** Показана возможность увеличения пропускной способности линии за счет изменения расположения фаз на двухцепной опоре. Увеличение пропускной способности составило около 10% по сравнению с вариантом традиционного расположения фаз.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Красильникова, Т.Г. Исследование схем транспозиции дальних и сверхдальних линий электропередачи: дис. ...канд. техн. наук / Т.Г. Красильникова; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005.

2 Лурье, М.С. Применение программы MATLAB при изучении курса электротехники /

М.С. Лурье, О.М. Лурье. -Красноярск: СибГТУ, 2006.

З Гайворонский, А.С. Линейные разрядники как средство грозозащиты ВЛ (анализ зарубежного и отечественного опыта) / А.С. Гайворонский, А.В. Клепиков, Е.Н. Прокофьева // Сборник докладов Второй Российской с международным участием научно-практической конференции «ЛЭП 2006». -Новосибирск, 2006.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *двухцепная воздушная линия, расположение фаз, уравнения в фазных координатах*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Анохин Борис Анатольевич, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630093, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»*

## ГЕРКОН КАК ФИЛЬТР ТОКА НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

«Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова»

**У.К. Жалмагамбетова, А.Б. Жантлесова, М.Я. Клецель, П.Н. Майшев**

### HERMETIC CONTACT AS THE FILTER OF THE CURRENT OF ZERO SEQUENCE

«Pavlodar state university named S. Toraigyrov»

U.K. Zhalmagambetova, A.B. Zhantlesova, M.Ya. Kletzel, P.N. Maishev

The technique of definition of coordinates hermetic contact for performance of functions of the filter of a current of zero sequence by it is offered. Conditions at which it is possible, and examples of designs for its fastening in a settlement point are considered.

*Keywords: the filter of a current of a zero-sequence, coordinate, induction of a magnetic field, construction of strengthening of hermetic contacts*

Предлагается методика определения координат геркона для выполнения им функций фильтра тока нулевой последовательности. Рассматриваются условия, при которых это возможно, и примеры конструкции для его крепления в расчетную точку.

Фильтр тока нулевой последовательности (ФТНП) на трех трансформаторах тока (ТА), являющийся основной частью широко используемых защит электроустановок от коротких замыканий на землю, можно выполнить с помощью одного магнитоуправляемого контакта (МК) – геркона и простой конструкции для его крепления.

Методика определения координат геркона для выполнения функций ФТНП. Пусть МК-1 (рисунок 1) установлен в плоскости, перпендикулярной параллельно расположенным фазам А, В и С электроустановки, так, что точка М в зазоре между его контактами находится от них на расстояниях  $I_A$ ,  $I_B$  и  $I_C$ , больших минимально допустимых по технике безопасности. Тогда, в соответствии с законом Био-Савара - Лапласа, индукция  $\bar{B}_{ПР}$  магнитного поля (МП), созданного токами фаз  $\bar{I}_A$ ,  $\bar{I}_B$  и  $\bar{I}_C$ , действующая в точке М вдоль продольной оси МК [1]

$$\bar{B}_{ПР} = \bar{B}_A \cos \alpha_1 + \bar{B}_B \cos \alpha_2 + \bar{B}_C \cos \alpha_3 = \frac{\mu_0}{2\pi} \left( \frac{\bar{I}_A}{I_A} \cos \alpha_1 + \frac{\bar{I}_B}{I_B} \cos \alpha_2 + \frac{\bar{I}_C}{I_C} \cos \alpha_3 \right), \quad (1)$$

где  $\bar{B}_A, \bar{B}_B, \bar{B}_C$  – индукция МП в точке М от тока  $\bar{I}_A, \bar{I}_B$  и  $\bar{I}_C$ ;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  – угол между продольной осью МК и  $\bar{B}_A, \bar{B}_B$  и  $\bar{B}_C$ ;

$\mu_0$  – магнитная проницаемость воздуха.

Чтобы МК-1 выполнял функции фильтра токов  $\bar{I}_0$  нулевой последовательности, он должен реагировать на

$$\bar{I}_0 = \frac{\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C}{3}.$$

Как видно из (1), это возможно, если

$$\frac{\cos \alpha_1}{I_A} = \frac{\cos \alpha_2}{I_B} = \frac{\cos \alpha_3}{I_C}. \quad (2)$$

При подстановке токов прямой последовательности  $\bar{I}_{A1}, \bar{I}_{B1}, \bar{I}_{C1}$  в (1) вместо токов  $\bar{I}_A, \bar{I}_B, \bar{I}_C$ , соответственно, при соблюдении условий (2), получаем, что индукция магнитного поля, созданного ими,  $\bar{B}_{ПР1} = 0$ , то есть эти токи не оказывают влияния на МК-1. Аналогично, для токов обратной последовательности. При подстановке в (1) вместо  $\bar{I}_A, \bar{I}_B, \bar{I}_C$  токов нулевой

последовательности -  $\bar{I}_{A0} = \bar{I}_0$ ,  $\bar{I}_{B0} = \bar{I}_0$ ,  $\bar{I}_{C0} = \bar{I}_0$ , имеем

$$\bar{B}_{\text{ПР}} = \frac{3\mu_0 \cos \alpha_1 \bar{I}_0}{2\pi \cdot I_A}$$

Следовательно, на МК -1 действует только магнитное поле, созданное токами  $\bar{I}_0$ , и задача сводится к определению координат геркона, при которых условие (2) выполняется.

В качестве координат для удобства использования в эксплуатации примем (рисунок 1): расстояние  $l_6$  на прямой BC (длиной  $l_7 = l_2 + l_3$ ), соединяющей фазы B и C; высоту  $h_1$  треугольника BMC и угол  $\gamma_3$  между продольной осью МК и  $h_1$ . В качестве исходных данных используем известные при любом расположении фаз расстояния  $l_4, l_5, l_7$  между ними, а также расстояния  $l_3, l_1$  и  $h$  ( $l_1$  - часть прямой TL, параллельной BC, от фазы A до опоры, а  $h$  - от TL до BC).

Найдем дополнительные связи между параметрами в (2) из треугольников ABM, ACM и MBC (учитывая, что  $\beta_1 = \alpha_1 - \alpha_2$ ,  $\beta_2 = \alpha_1 + \alpha_3$  и  $\beta_3 = \alpha_2 + \alpha_3$ , как углы с взаимно перпендикулярными сторонами):

$$l_4^2 = l_A^2 + l_B^2 - 2l_A l_B \cos(\alpha_1 - \alpha_2); \quad l_5^2 = l_A^2 + l_C^2 - 2l_A l_C \cos(\alpha_1 + \alpha_3); \quad l_7^2 = l_B^2 + l_C^2 - 2l_B l_C \cos(\alpha_2 + \alpha_3). \quad (3)$$

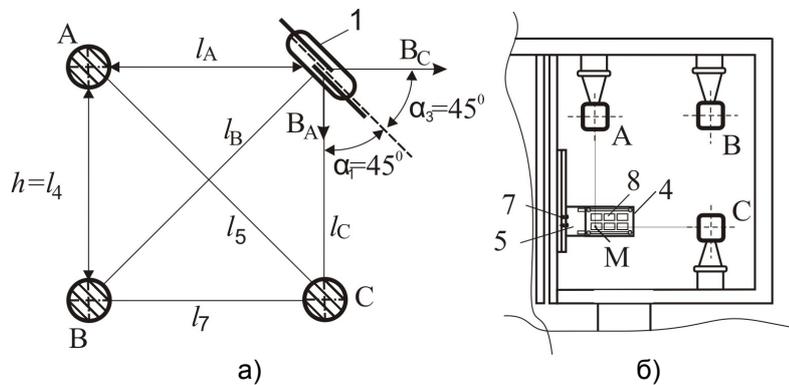


Рисунок 2 – Координаты МК (а) и его крепление (б) при расположении фаз по вершинам равнобедренного прямоугольника

Рассмотрим (2), (3) как систему уравнений с неизвестными  $l_A, l_B, l_C$  и  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ . Решая её в среде MathCad 11 с помощью функции «Find», находим множество точек, координаты которых удовлетворяют уравнениям (2-3), расположенных на окружности радиусом  $R$  описанной вокруг треугольника, соединяющего точки A, B, C, (являющиеся центрами окружностей поперечного сечения фаз в вертикальной плоскости). В соответствии с [2]  $R = l_4 l_5 / 2h$ . Для обеспечения техники безопасности и учета влияния токов в земле должны выбираться те точки, которые находятся на дугах FE и PK. Чтобы установить МК, например, в точку M на дуге FE, надо предварительно найти угол  $\gamma_1$  по теореме синусов из треугольника BMC (угол  $\beta_3$  уже определен), а затем координаты  $h_1$  и  $l_6$  из прямоугольного треугольника NCM. Координата  $\gamma_3 = \alpha_1 - \gamma_2$ . Угол  $\gamma_2$  определяется из прямоугольного треугольника ALM, так как  $\gamma_2 = \angle MAL$  (их стороны взаимно перпендикулярны). Треугольник ALM получен после продолжения линии NM до пересечения в точке L с линией TL. После определения  $\gamma_3$  от точки C откладывается  $l_6$ . С помощью рейки, установленной перпендикулярно NC в точке N, фиксируется точка M как конец ее участка длиной  $h_1$ . МК закрепляется в M с помощью различных конструкций, например как показано на рисунках 1-3,

Рисунок 1 – Иллюстрация к выбору координат МК для выполнения функций ФТНП

и поворачивается на угол  $\gamma_3$  относительно линии MN в упомянутой вертикальной плоскости. МК можно установить и между фазами А и В (рисунок 1), но не между фазами В и С (из-за значительного влияния токов в земле).

Отметим следующее. Если фазы расположены по вершинам равностороннего треугольника при минимально допустимом расстоянии между ними, то по требованиям техники безопасности нельзя устанавливать МК на описанной окружности (этот случай подробно рассмотрен в [3]). Если горизонтально, то использование одного МК для построения ФТНП невозможно – не выполняется (2) [1]. Строго говоря, (2) не выполняется при любом расположении фаз, так как нельзя абсолютно точно установить МК в расчетную точку. Это является одной из причин того, что в нормальных режимах работы электроустановки

$$\bar{B}_{\text{ПР}} = \bar{B}_{\text{ПР}}^{\text{НЕБ}} \neq 0,$$

где  $\bar{B}_{\text{ПР}}^{\text{НЕБ}}$  – индукция небаланса.

Другой причиной является несимметрия токов фаз. Вопрос о допустимой величине  $\bar{B}_{\text{ПР}}^{\text{НЕБ}}$  в данной статье не рассматривается. Он будет решаться при построении защит конкретных электроустановок.

Крепление МК. Осуществляется с помощью специальных конструкций, например [4, 5]. Для промежуточных одноцепных опор, подобных изображенной на рисунке 1, предлагается крепить МК с помощью планки 2, хомута 3 и устройства [4] регулирования положения МК-1 (рисунок 3). В нем пластину 4 перемещают вдоль штанги 5 со шкалой при помощи болтов с гайками 6, а МК-1 на пластине 4 вниз или вверх – с помощью зажимов 9. Штанга 5 прикреплена к планке 2 болтами 7. МК-1 устанавливается в точку D (рисунок 1) при помощи кожуха 8 (рисунок 3). Угол между горизонтальной плоскостью и продольной осью МК-1 изменяется ручкой 10 с контргайкой, воздействуя стержнем 12 на отградуированную пластину 11, на которой через окошко 13 виден угол поворота МК-1. Таким образом обеспечивается перемещение МК как в вертикальной, так и горизонтальной плоскостях.

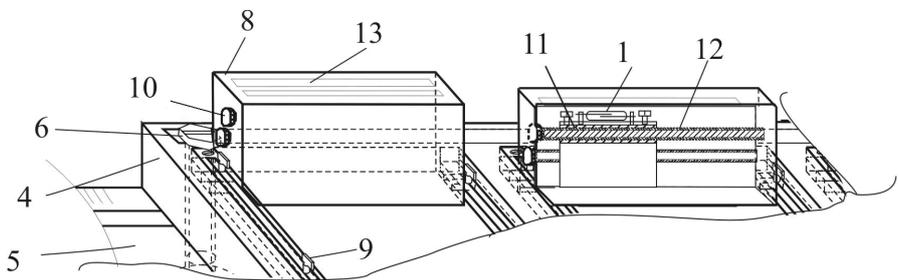


Рисунок 3 – Устройство регулирования положения МК

Для закрытых распределительных устройств 110 кВ (рисунок 2б) с гибкими и жесткими проводниками, расположенными по сторонам равнобедренного прямоугольника, устройство 5 регулирования (рисунок 3) крепится к стене болтами 7. Заметим, что все элементы конструкции выполнены из диэлектрического материала и соотношения их размеров на рисунках 1-3 не соблюдаются.

Выводы:  
1 Для того, чтобы геркон выполнял функции фильтра тока нулевой последовательности в защитах электроустановок с фазами, расположенными по вершинам треугольника, его в большинстве случаев, следует устанавливать на дуге окружности, описанной вокруг этого треугольника, ограниченной условиями техники безопасности.  
2 Разработанные конструкции обеспечивают возможность установки герконов в расчетную точку вблизи одноцепных опор 110-220 кВ, а также в закрытых распределительных устройствах 110 кВ при расположении фаз по вершинам равнобедренного прямоугольника.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Клецель, М.Я. О построении на герконах защит высоковольтных установок без трансформаторов тока / М.Я. Клецель, В.В. Мусин // Электротехника. -1987. -№4. -С. 11-13.
- 2 Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. -М.: Наука, 1977. -832 с.
- 3 Майшев, П.Н. Выбор координат магниточувствительных элементов для идентификации токов коротких замыканий / П.Н. Майшев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№2. -С. 319-323.

4 Предварительный пат. №19882 Республика Казахстан. Измерительный орган для релейной защиты трехфазных симметричных токопроводов напряжением 35-110 кВ / Клецель М.Я., Жантлесова А. Б., Жантлесова Б.Б., Майшев П.Н. -Опубл. 15.08.08, Бюл. №8.

5 Клецель, М.Я. Конструкции для регулирования уставок защит на герконах токопроводов напряжением 6-35 кВ / М.Я. Клецель, М.Т. Токомбаев, А.Б. Жантлесова // Вестн. Рязан. гос. радиотехн. ун-та. -2008. -№2. -С. 100-104.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *фильтр тока нулевой, последовательности, координаты, индукция магнитного поля, конструкция крепления герконов*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Жалмагамбетова Ултуар Каирбулатовна, магистр ПГУ им. С. Торайгырова  
Жантлесова Асемгуль Бейсембаевна, соискатель ПГУ им. С. Торайгырова  
Клецель Марк Яковлевич, докт. техн. наук, профессор ПГУ им. С. Торайгырова  
Майшев Павел Николаевич, канд. техн. наук, доцент ПГУ им. С. Торайгырова*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64, ПГУ им. С. Торайгырова*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ ПОЕЗДОВ**

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

**А.И. Давыдов, М.М. Никифоров**

### **FEATURES OF CONDUCTING ENERGY AUDITS OF ELECTRIC TRAIN TRACTION**

«Omsk state transport university»

A.I. Davydov, M.M. Nikiforov

The article describes the main elements of the analysis of energy consumption for traction in conducting energy audits of major technological complex railway industry

*Keywords: energy intensity, energy audits traction trains, specific energy consumption*

Рассмотрены основные элементы анализа расхода электроэнергии на тягу поездов при проведении энергетического обследования основного технологического комплекса железнодорожной отрасли.

Стратегической целью энергетической политики, установленной в «Энергетической стратегии холдинга «Российские железные дороги» на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года», является максимально рациональное использование топливно-энергетических ресурсов во всех сферах деятельности холдинга «РЖД» для повышения экономической эффективности железнодорожных перевозок на основе внедрения инновационных технических средств и технологий, использования потенциала повышения энергоэффективности при обеспечении надежности энергоснабжения.

В условиях непрекращающегося роста цен на энергоресурсы при реализации энергетической стратегии холдинга наряду с интенсивным внедрением передовых энергосберегающих технологий важную роль играет правильно организованное управление энергопотреблением – энергетический менеджмент. Одним из основных инструментов энергетического менеджмента является проведение энергетического обследования.

Обязательность проведения энергетического обследования в холдинге «Российские железные дороги» обусловлена требованиями п. 2 ст. 16 Федерального закона №261-ФЗ от 23 ноября 2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...».

Рассматривая структуру затрат топливно-энергетических ресурсов на обеспечение деятельности холдинга, следует отметить, что в разные годы на тягу поездов приходится от 80 до 85 % потребления электроэнергии в холдинге. Так в 2010 г. расход электроэнергии на тягу поездов составил 38,3 млрд. кВт·ч.

Следует отметить, что специфика использования электроэнергии на тягу поездов не позволяет при проведении энергетического обследования эксплуатационных локомотивных депо использовать широко распространенные в настоящее время методики проведения энергоаудита промышленных предприятий или объектов жилищно-коммунального хозяйства.

Исходя из вышеизложенного вопросы исследования особенностей проведения энергообследования электрической тяги поездов являются актуальными для холдинга «Россий-

ские железные дороги».

Информационной основой при проведении энергетического обследования электрической тяги поездов являются следующие отчетные формы автоматизированной системы интегрированной обработки маршрута машиниста:

- ТХО-1 «Отчет о расходе топлива или электроэнергии на локомотивы и моторвагонный подвижной состав бригадами депо»;
- ВЦ-11 «Расход электроэнергии на отопление пассажирских вагонов»;
- ТО-2 «Отчет о наличии и работе локомотивов в грузовом движении», раздел 3 «Для локомотивных депо по приписанным к ним локомотивным бригадам»;
- ЦО-2, раздел 2 «Показатели использования локомотивов»;
- ЦО-4 раздел 1 «Показатели работы и использования локомотивов» и раздел 2 «Показатели работы и использования вагонов» и др.

На первоначальном этапе по собранной информации для характеристики общего объема и структуры энергопотребления составляется топливно-энергетический баланс и баланс тонно-километровой работы и пробега локомотивов, которые формируются на основе данных о потреблении энергоресурсов и работе различных видов тягового подвижного состава (ТПС) в структурном подразделении железнодорожного транспорта:

$$\frac{QL_{\text{Э}}}{\sum_{k=1}^2 QL_k} + \frac{QL_{\text{Т}}}{\sum_{k=1}^2 QL_k} = 1; \quad (1)$$

$$\frac{A_{\text{Э}}}{\sum_{k=1}^2 A_k} + \frac{A_{\text{Т}}}{\sum_{k=1}^2 A_k} = 1, \quad (2)$$

где  $QL_{\text{Э}}, A_{\text{Э}}$  – работа в электротяге и потребление энергии в эквивалентных единицах условного топлива;

$QL_{\text{Т}}, A_{\text{Т}}$  – работа в теплотяге и потребление дизельного топлива в эквивалентных единицах условного топлива.

Пример структуры выполнения перевозочной работы и потребления топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов в т.ч. для одного из локомотивных депо Урало-Сибирского региона приведен на рисунке 1.

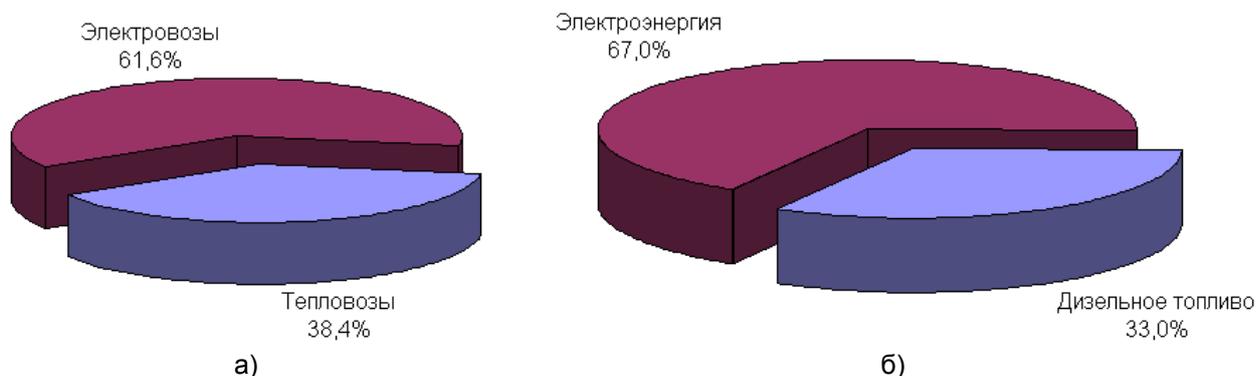


Рисунок 1 – Структура выполнения перевозочной работы (а) и потребления энергоресурсов (б) на тягу поездов

Данные на рисунке 1 свидетельствуют о том, что в рассматриваемом структурном подразделении определяющую роль в формировании топливно-энергетического баланса играет электровозная тяга. Соответственно, этому виду тяги должно быть уделено максимальное внимание при формировании мероприятий по энергосбережению в области тяги.

Энергоемкость перевозочного процесса определяется удельным расходом электроэнергии (УРЭ) на тягу поездов. Основными уровнями его анализа являются следующие:

- структурные подразделения дирекции тяги;
- серии локомотивов;
- виды движения;
- плечи обслуживания локомотивных бригад дороги.

Удельный расход электроэнергии по видам движения и сериям локомотивов за два года для рассматриваемого депо приведен в таблице 1 и 2 соответственно.

УРЭ по структурному подразделению в целом определяется не только значениями УРЭ на каждом уровне интеграции данных, но и соответствующими долями выполненной работы. Для ее оценки на  $n$ -м уровне целесообразно использовать показатель:

$$\gamma_n = \frac{(QL)_n}{\sum_{i=1}^N (QL)_i}; \quad (3)$$

где  $(QL)_n$  – работа за анализируемый период, выполненная на  $n$ -м уровне интеграции данных;

$\sum_{i=1}^N (QL)_i$  – общая работа в целом по структурному подразделению.

Распределение долей выполненной работы отражает структуру грузопотока, которую необходимо учитывать при анализе изменения удельного расхода ТЭР на любом уровне исследования и представлять УРЭ в виде суммы произведений доли выполненной работы на удельный расход энергии по каждой категории

$$a_n = \sum_{k=1}^n (\delta_k \cdot a_{nk}), \quad (4)$$

где  $a_n$  – УРЭ на исследуемом уровне;

$\delta_k$  – доля выполненной работы  $k$ -й категории исследуемого уровня;

$a_{nk}$  – УРЭ  $k$ -й категории исследуемого уровня.

Удельный вес  $n$ -й категории анализа в общем УРЭ по структурному подразделению вычисляется по формуле

$$\gamma_n = \frac{\delta_n \cdot a_{nn}}{\sum_{k=1}^n (\delta_k \cdot a_{nk})} \cdot 100. \quad (5)$$

Распределение удельных весов по сериям локомотивов представлено на рисунке 2.

Как указано ранее, третьим важнейшим направлением анализа энергопотребления на тягу поездов в структурных подразделениях дирекции тяги является обследование по участкам работы локомотивных бригад.

Результаты анализа данных по пяти эксплуатационным локомотивным депо России

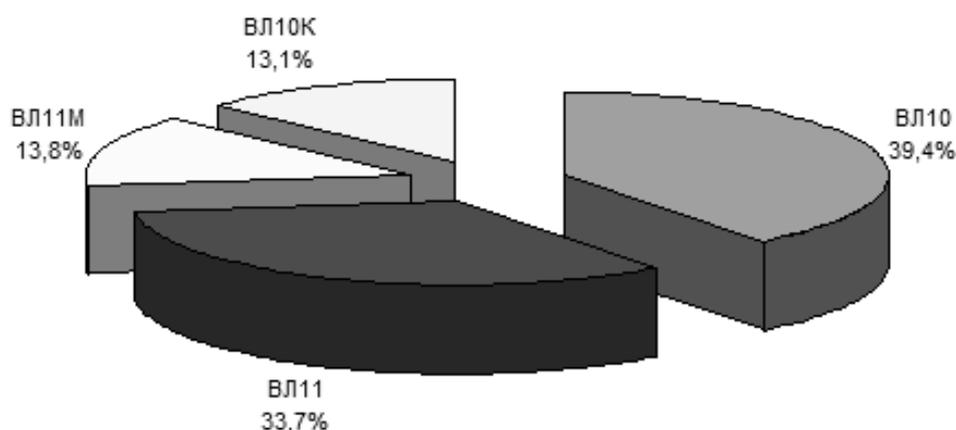
свидетельствуют о значительном различии энергоемкости поездо-участков. Она зависит от установленных ограничений скорости, максимальной массы грузовых поездов, обусловленных профилем и планом пути на плечах обслуживания локомотивных бригад. Результаты энергопотребления по участкам работы рассматриваемого локомотивного депо приведены в таблице 3.

*Таблица 1 – Удельный расход электроэнергии на тягу поездов по видам движения, (кВт·ч)/ткм*

Вид движения	2009 г.	2010 г.
Грузовое	82,8	81,7
Передаточно-вывозное	99,7	96,3
Хозяйственное	317,4	227,5
Маневровое	74,4	73,0
Ветви необщего пользования	0,0	140,0

*Таблица 2 – Удельный расход электроэнергии на тягу поездов по сериям локомотивов, (кВт·ч)/ткм*

Серия локомотива	2009 г.	2010 г.
ВЛ10	83,8	83,6
ВЛ11	91,3	89,1
ВЛ11М	85,6	85,8
ВЛ10К	84,6	76,8



*Рисунок 2 – Влияние работы и энергопотребления по сериям электровозов на УРЭ по депо в целом*

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Таблица 3 – Структура УРЭ по основным участкам работы локомотивных бригад локомотивного депо

Участок работы локомотивных бригад	Доля выполненной тонно-километровой работы, $\delta$ о. е.	Результат экономии (-) или перерасхода		Нормативный УРЭ, $a_{эн} \times 10^{-4}$ кВт·ч/ткм	Фактический УРЭ, $a_{эф} \times 10^{-4}$ кВт·ч/ткм	УРЭ с учетом доли работы, $a'_{эф} \times 10^{-4}$ кВт·ч/ткм	Удельный вес $a'_{эф}$ по участку в общем $a'_{эф}$ по депо, %
		кВт·ч	%				
Участок 1	0,273	-32723	-9,5	69,5	63,5	17,3	20,9
Участок 2	0,145	-20699	-6,6	115,3	108,2	15,7	19,0
Участок 3	0,076	4153	3,5	79,0	81,7	6,2	7,5
Участок 4	0,075	13030	13,8	63,2	72,0	5,4	6,5
Участок 5	0,064	-2172	-1,8	94,0	92,3	5,9	7,2
Участок 6	0,051	-4442	-4,7	97,5	93,1	4,7	5,7
Участок 7	0,022	585	1,2	110,9	112,3	2,4	2,9
Участок 8	0,019	-2148	-7,1	86,6	80,9	1,5	1,8
Участок 9	0,008	-1135	-12,6	65,8	58,4	0,5	0,5
Участок 10	0,005	-61	-0,5	119,7	119,1	0,6	0,7
Участок 11	0,005	1098	13,4	82,8	93,9	0,5	0,6
Участок 12	0,003	505	12,0	62,6	70,1	0,2	0,3
Участок 13	0,002	592	18,5	94,4	111,8	0,2	0,2
...							
Всего	1,000	-56354	-3,4	85,8	82,9	82,9	100,0

Полученный опыт энергетических обследований в области тяги поездов свидетельствует о необходимости более детального обследования потребления электрической энергии. Основными направлениями при этом должны стать анализ энергоемкости каждой приписной единицы электроподвижного состава и составление таблиц энергетических показателей участков работы локомотивных бригад, в том числе и оценка потенциала возврата электроэнергии в контактную сеть при рекуперативном торможении на рассматриваемых поездочастках.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** энергоемкость, энергетическое обследование тяги поездов, удельный расход электроэнергии

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Давыдов Алексей Игоревич, аспирант ГОУ ВПО «ОмГУПС»  
Никифоров Михаил Михайлович, канд. техн. наук, начальник научно-производственной лаборатории ГОУ ВПО «ОмГУПС»

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

## РАСЧЁТ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВТОРИЧНОЙ ОБМОТКИ В НАГРЕВАТЕЛЬНОМ ЭЛЕМЕНТЕ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА

ГОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

**А.В. Сериков, В.М. Кузьмин**

**CALCULATION OF SECONDARY WINDING ACTIVE RESISTANCE FOR THE TRANSFORMER TYPE HEATER ELEMENT**  
«Komsomolsk-on-Amur state technical university»  
A.V. Serikov, V.M. Kuzmin

The problems of calculation a secondary winding active resistance for the transformer type heater element are considered. The electric field is simulated. The active resistance design procedure for the irregular shape conductor is proposed.

*Keywords: transformer, secondary tuned circuit, electric field, irregular shape conductor, active resistance*

Рассмотрены проблемы расчёта активного сопротивления вторичной обмотки в нагревательном элементе трансформаторного типа. Выполнено моделирование электрического поля. Предложена методика расчёта сопротивления проводника сложной формы.

При проектировании нагревательных элементов трансформаторного типа для децентрализованных систем горячего водоснабжения и отопления важным является правильно подобрать геометрические размеры вторичного короткозамкнутого контура, в котором выде-

ляется основная доля тепла. От правильности расчёта параметров вторичной обмотки таких трансформаторов зависит их мощность, энергетические показатели, а также тепловое состояние, что в конечном итоге сказывается на надёжности работы, экономичности и сроке эксплуатации всего нагревательного устройства.

В работе рассматриваются вопросы расчёта активного сопротивления вторичной обмотки, представляющей собой объёмный проводник.

Рассматриваемый трёхфазный электропроводонагревательный элемент трансформаторного типа [1] состоит из индуктора (трёхстержневой плоской магнитной системы 6 и цилиндрической первичной обмотки 4) и вторичной обмотки в виде металлического бака 1 с перемычками 5 (рисунок 1). Бак снабжается дном 2 и крышкой 3, которые герметично закрывают индуктор от проникновения воды. Вода омывает наружные поверхности бака, дна и крышки.

Дно и крышка могут привариваться к баку, и в этом случае конструкция будет неразборной. Если дно и крышку прикреплять к баку болтами, используя резиновые уплотнители, то получится разборная конструкция, которая имеет определённые преимущества. Две поперечные перемычки 5, привариваемые изнутри к стенкам бака служат для замыкания фазных токов вторичной обмотки. В собранных трансформаторах эти перемычки проходят через окна магнитопровода 6.

Анализ электромагнитных процессов в таких трансформаторах показывает, что по вторичной обмотке замыкается сложная система токов, вызывающая неравномерное распределение потерь и, следовательно, неравномерный нагрев. Для правильного расчёта вторичного контура необходимо определить сопротивления возможных короткозамкнутых контуров.

При рассмотрении разборной конструкции токи через дно и крышку бака протекать не будут. В расчёте можно учитывать только токи, замыкающиеся по стенке бака. Так как перемычки имеют высоту меньше, чем высота боковины бака, то эти токи будут стремиться растекаться по всей высоте бака (рисунок 2а). В неразборной конструкции, добавляются контура, замыкающиеся по дну и крышке через перемычки (рисунок 2б).

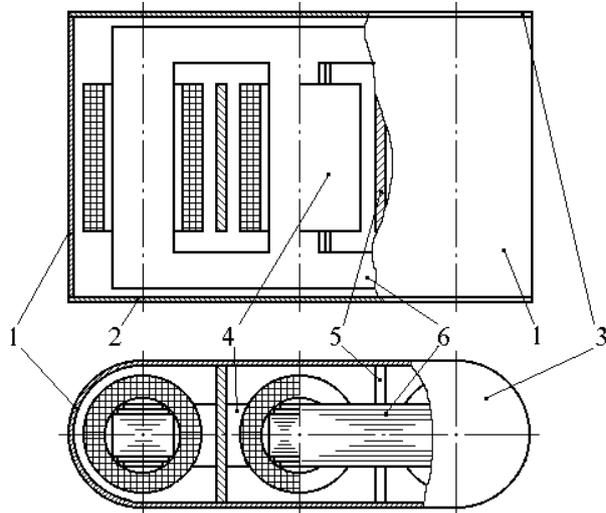


Рисунок 1 – Трансформатор с вторичной обмоткой в виде бака

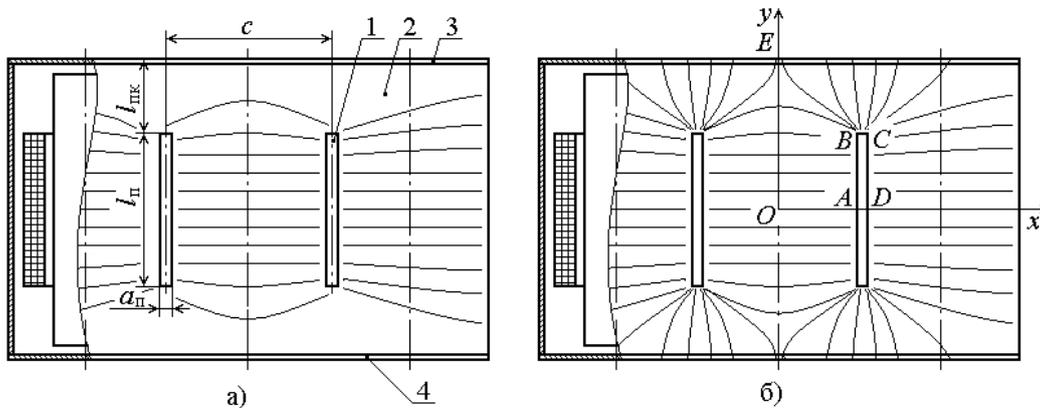


Рисунок 2 – Распределение токов в баке: 1-перемычка; 2-стенка бака; 3-крышка бака; 4-дно бака;  $c$  -расстояние между перемычками;  $I_п, a_п$  -высота и ширина перемычки;  $I_{пк}$  -расстояние между перемычкой и крышкой (дном) бака

Расчётными и экспериментальными исследованиями было выявлено, что при относительно малой толщине листа бака невысокой частоте тока (50 Гц) эффект вытеснения тока по толщине листа не сказывается, индуктивное сопротивление вторичного контура значи-

тельно меньше активного сопротивления. Это позволяет сделать вывод о том, что растекание переменного тока по баку будет такое же, как и постоянного тока, то есть вместо переменного поля можно рассчитывать постоянное электрическое поле.

При принятых допущениях электрическое поле в баке для крайней фазы можно рассматривать как двухмерное, не изменяющееся по толщине листа. Ввиду симметрии конструкции и электрического поля относительно вертикальной и горизонтальной осей симметрии трансформатора расчёт можно вести для одной четверти бака. Для упрощения область моделирования поля для крайней фазы целесообразно представить в виде развёртки бака (рисунок 3а). Линейный размер  $b$  соответствует ширине бака, а размер  $d$  рассчитывается по формуле

$$d = l_{\text{нк}} + \frac{l_{\text{п}}}{2}.$$

Для минимизации искажения поля при моделировании размер  $l_c$  выбирается таким образом, чтобы длина линии между сторонами перемычки по стенке бака вдоль горизонтальной оси  $Ox$  в реальной конструкции соответствовала сумме длин линий  $DF$ ,  $F'G'$  и  $GH$  (рисунок 3а). В работе этот размер определялся по формуле

$$l_c = \frac{c + \frac{\pi b}{2} - b}{2} = \frac{c}{2} + 0,285b.$$

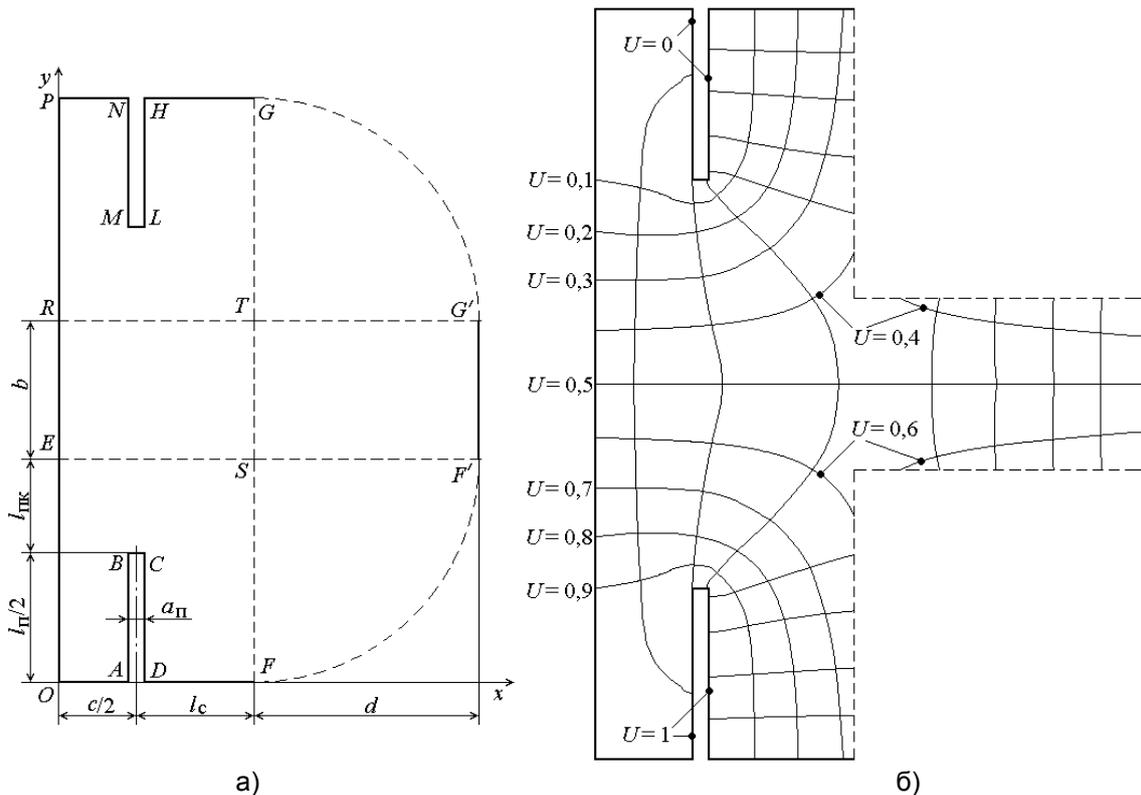


Рисунок 3 – Область моделирования (а) и результаты моделирования электрического поля (б)

Электрическое поле в модельной области относительно электрического потенциала  $U$  в ортогональной системе координат  $x, y$  описывается дифференциальным уравнением следующего вида

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \gamma \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \gamma \frac{\partial U}{\partial y} \right) = 0, \tag{1}$$

где  $\gamma$  – удельная электрическая проводимость материала листа.

При этом граничные условия на внешних границах области следующие:

– на линии ABCD

$$U = U_0 = \text{Const};$$

– на линии HLMN

$$U = 0;$$

– на линиях OERP и F'G'

$$\frac{\partial U}{\partial x} = 0;$$

– на линиях OA, DF, GH и NP

$$\frac{\partial U}{\partial y} = 0.$$

Линии SF и SF', а также TG и TG' совпадают и не являются внешними границами.

Так как границы области исследования представляют собой отрезки прямых линий, которые расположены параллельно координатным осям, то в данной работе расчёт поля, описываемого уравнением (1) выполнен методом конечных разностей. Использовалась равномерная сетка с одинаковым шагом по координатным осям. Предварительные исследования показали, что сопротивление рассматриваемого контура в большой степени зависит от отношения геометрических размеров  $c$  и  $l_{\pi}$ , а также  $b$  и  $l_{\pi}$  (рисунок 3а). Расчёты проводились при разных соотношениях геометрических размеров:  $c/l_{\pi}$  от 0,2 до 0,9 и  $b/l_{\pi}$  от 0,5 до 0,7.

Так как величина сопротивления определяется конфигурацией области моделирования и не зависит от  $U_0$ , то при задании граничных условий в работе принималось  $U_0 = 1$ . Полученное распределение электрического потенциала для случая  $c/l_{\pi} = 0,5$  и  $b/l_{\pi} = 0,5$  показано на рисунке 3б.

Как показали исследования, ток в баке распределяется весьма неравномерно. При проектировании рассматриваемых нагревательных устройств важно правильно определить активные сопротивления отдельных участков и всего вторичного контура. В работе рассмотрен расчёт сопротивления для крайних фаз трёхфазного трансформатора  $R_K$ . Значение  $R_K$  определялось через разность потенциалов на линиях ABCD и HLMN, равную  $U_0$ , и ток  $I$ , проходящий через расчётную область

$$R_K = \frac{U_0}{2I}.$$

Полный ток определялся по уравнению

$$I = \Delta \int_{HLMN} \delta_n d\ell,$$

где  $\Delta$  – толщина листа бака;

$\delta_n$  – нормальная составляющая плотности тока к линиям интегрирования HL, LM и MN.

В работе указанный ток рассчитывался численным методом на основе той же конечно-разностной сетки, которая использовалась для расчёта поля.

При проектировании рассматриваемого нагревательного устройства важно правильно определить активное сопротивление крайних фаз вторичного контура. В работе предложено эти сопротивления вычислять с помощью относительного значения

$$R_K^* = \frac{R_K}{R_{KB}},$$

где  $R_{KB}$  – базовое сопротивление.

За базовое принято сопротивление прямоугольной боковой части корпуса между сторонами переключки без учёта выпучивания тока. Это сопротивление легко вычислить по следующей формуле

$$R_{KB} = \frac{2l_c + b}{\gamma \Delta l_{\pi}}.$$

Зависимость относительного значения сопротивления бака, соответствующего крайней фазе от геометрических соотношений, полученная по расчёту поля, приведена на рисунке 4.

Анализ результатов показал, что зависимость сопротивления от геометрических соотношений целесообразно аппроксимировать следующими выражениями:

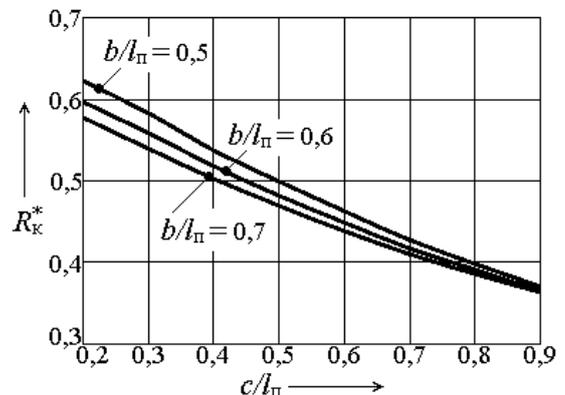


Рисунок 4 – Зависимость сопротивления от геометрических соотношений

$$\begin{aligned}
 R_k^* &= 0,7218 - 0,5155 \frac{c}{I_n} + 0,1394 \left( \frac{c}{I_n} \right)^2, \text{ при } \frac{b}{I_n} = 0,5; \\
 R_k^* &= 0,6889 - 0,4791 \frac{c}{I_n} + 0,1336 \left( \frac{c}{I_n} \right)^2, \text{ при } \frac{b}{I_n} = 0,6; \\
 R_k^* &= 0,6654 - 0,4618 \frac{c}{I_n} + 0,1413 \left( \frac{c}{I_n} \right)^2, \text{ при } \frac{b}{I_n} = 0,7.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

При всех указанных выше геометрических соотношениях погрешность аппроксимации сопротивления не превышает 2%.

Таким образом, активное сопротивление крайних фаз вторичной обмотки в виде бака для нагревательного элемента трансформаторного типа целесообразно определять по формуле

$$R_{2K} = R_k^* \cdot R_{KB} + R_n = R_k^* \cdot \frac{2l_c + b}{\gamma \Delta l_n} + \frac{b}{\gamma l_n a_n},$$

где  $R_n$  – активное сопротивление переключки.

Полученные аппроксимирующие выражения для расчёта активных сопротивлений крайней фазы короткозамкнутых вторичных контуров в виде неразборного бака с переключками могут быть использованы при проектировании электроводонагревательных устройств трансформаторного типа для систем децентрализованного теплообеспечения и горячего водоснабжения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Пат. 2218675 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> Н05 В 6/10. Электроводонагреватель трансформаторного типа / В.М. Кузьмин, А.В. Сериков, М.М. Борисенко. -Заявл. 23.02.01; опубл. 10.12.03, Бюл. №34.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** трансформатор, вторичный контур, электрическое поле, проводник сложной формы, активное сопротивление

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Сериков Александр Владимирович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «КНАГТУ»  
Кузьмин Вячеслав Матвеевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «КНАГТУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ГОУ ВПО «КНАГТУ»

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЗАВИСИМОГО РЕЗИСТОРА РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

**Н.Я. Илюшов, Д.В. Вагин, С.Г. Назаров**

### COMPUTER SIMULATION OF FREQUENCY DEPENDENT RESISTOR OF DIFFERENT SHAPES

«Novosibirsk state technical university»

N.Ya. Ilyushov, D.V. Vagin, S.G. Nazarov

Computer model of special resistor which resistance strongly depends on frequency is developed. The goal of the paper is an attempt to find shape and sizes of multibeam resistor with highest resistance at high frequency. It is shown that by variation of resistor shape one can get 20000 times more resistance at frequency 1 MHz in comparison the one at operating frequency 50 Hz.

*Keywords: modeling, frequency-dependent resistor, resistance, frequency, surge protection, skin effect, switching overvoltage*

Рассмотрены вопросы моделирования формы и размеров частотнозависимого резистора для увеличения его сопротивления на высоких частотах. Данная статья является продолжением разработки путей и методов увеличения сопротивления резистора для подавления высокочастотных помех. Изменение формы и размеров резистора с помощью компьютерного моделирования показывает, что теоретически сопротивление может быть увеличено в десятки тысяч раз.

Как известно, перенапряжения в электрических сетях могут возникать в результате ударов молнии, любого повреждения в сети и при оперативных переключениях. При этом в некоторых случаях возникают колебания высоких частот. Добиться абсолютного ограничения

перенапряжений очень сложно, но одним из возможных способов подавления высокочастотных перенапряжений может стать применение резистора, сопротивление которого увеличивается с ростом частоты входного сигнала [1-4]. Механизмом, обеспечивающим рост высокочастотного сопротивления, является скин-эффект. В обычных проводниках благодаря скин-эффекту импульс перенапряжения становится более пологим и за счёт этого перенапряжение уменьшается на десятки процентов [5]. Поэтому последовательное включение в цепь частотнозависимого резистора, сопротивление которого на рабочей частоте 50 Гц не отличается от сопротивления фазного проводника, а на высоких частотах должно резко возрасти, приведёт к надёжной защите электрических сетей от перенапряжений.

Увеличить сопротивление частотнозависимого резистора на высоких частотах возможно несколькими способами, одним из которых является изменение его формы [6]. Однако любое изменение формы конструкции требует изготовления практически нового образца, что является очень затратным по времени и материалам. Поэтому для моделирования частотнозависимого резистора была разработана специальная компьютерная программа, позволяющая изучить распределение электромагнитного поля и поведение характеристик поля в резисторе. Расчёты производились методом конечных элементов (7), неоспоримым преимуществом которого, является возможность задания нерегулярных и неортогональных сеток, что позволяет более точно описать геометрию расчётной области.

Сравнение результатов компьютерного моделирования с результатами низковольтных измерений, представленное на рисунке 1, показало хорошее совпадение вплоть до частоты 1 МГц. Это позволило использовать моделирование для определения оптимальной формы и размеров частотнозависимого резистора.

Расчёты проводились для частот 50 Гц, 100 кГц, 300 кГц и 1 МГц. Данные частоты были выбраны потому, что являются характерными для различных типов перенапряжения. Так частоты 100-300 кГц наиболее характерны для грозовых перенапряжений, а частота 1 МГц для коммутационных перенапряжений.

В процессе компьютерного моделирования изменялись следующие геометрические характеристики резистора: площадь основания, длина и площадь луча, а также само количество лучей макета. Естественно, что на низких частотах любое изменение формы резистора, приводящее к увеличению площади поперечного сечения, приводило к уменьшению его сопротивления. На высоких же частотах большее влияние на значение сопротивления оказывало количество и форма лучей.

На рисунке 2 приведена зависимость активного сопротивления резистора от количества лучей при неизменной площади его основания при частотах входного сигнала 1 МГц, 300 кГц и 100 кГц. Графики показывают, что активное сопротивление имеет свой максимум при определённом количестве лучей, причем это оптимальное количество зависит от частоты входного сигнала. Так, например, для входных сигналов частотой 1 МГц пик сопротивления приходится на  $n = 14$ , а для сигналов частотой 300 кГц оптимальным количеством лучей является 16.

Наиболее наглядно рост сопротивления частотнозависимого резистора на высоких частотах в зависимости от количества лучей по результатам компьютерного моделирования можно представить в виде графиков зависимости относительного сопротивления, то есть отношения сопротивления резистора на высокой частоте  $R_1$  к его сопротивлению на частоте 50 Гц  $R_0$  от количества лучей  $n$  (рисунок 3).

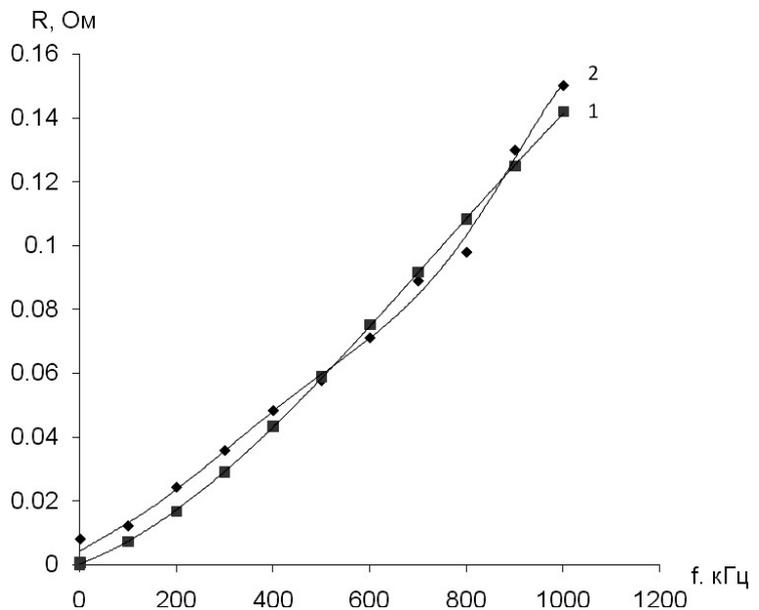


Рисунок 1 – Сравнение результатов компьютерного моделирования (кривая 1) с результатами низковольтных измерений (кривая 2)

Как видно из данных графиков для увеличения сопротивления частотнозависимого резистора на каждой из заданных частот хотя бы в 10000 раз требуется различная форма резистора. Так на частоте 1 МГц для этого необходимо, как минимум, 8 лучей, для частоты 300 кГц потребуется 14 лучей, а для частоты 100 кГц необходимо уже увеличить не только количество лучей до 36, но и увеличить соответственно и диаметр основания.

Результаты моделирования по определению оптимальной длины луча, его площади, а также оптимальной площади основания подтвердили, что для входных сигналов различной частоты существует своя оптимальная форма. Так, например, наибольшего сопротивления резистора при частоте входного сигнала 1 МГц можно добиться если резистор имеет форму приведённую на рисунке 4.

Толщина его основания должна составлять 40 мм, внутренний радиус основания – 14 мм, резистор должен иметь 8 лучей длиной 15 мм с шириной основания луча 11 мм. При такой форме активное сопротивление частотнозависимого резистора на частоте 1 МГц должно возрастать более чем в 24000 раз с 10,88 мкОм при частоте входного сигнала 50 Ом до 0,267589 Ом.

Для подобного увеличения сопротивления на частоте 300 кГц форма частотнозависимого резистора должна быть следующей: толщина основания 50 мм, внутренний радиус 10 мм, количество лучей 14, длина луча 11 мм. Для частоты входного сигнала 100 кГц толщина основания должна быть не менее 56 мм, внутренний радиус – 6 мм, количество лучей – 36, длина луча 7,5 мм.

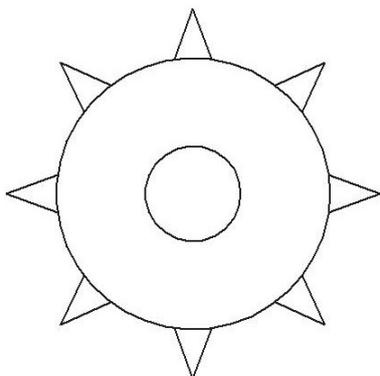


Рисунок 4 – Форма резистора

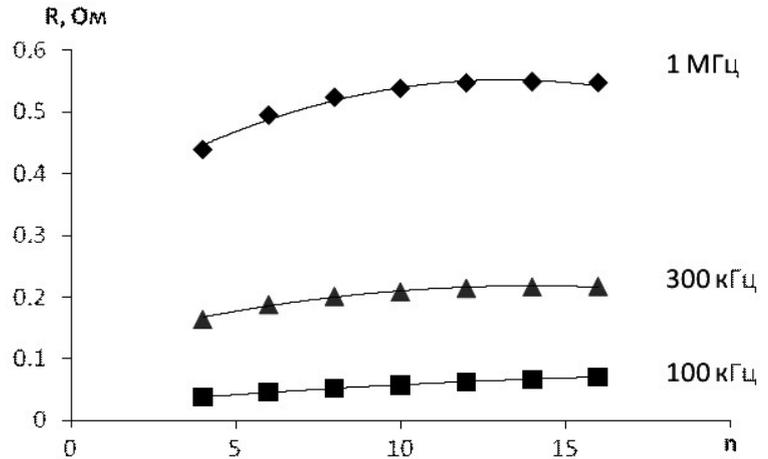


Рисунок 2 – Зависимость активного сопротивления резистора от количества лучей

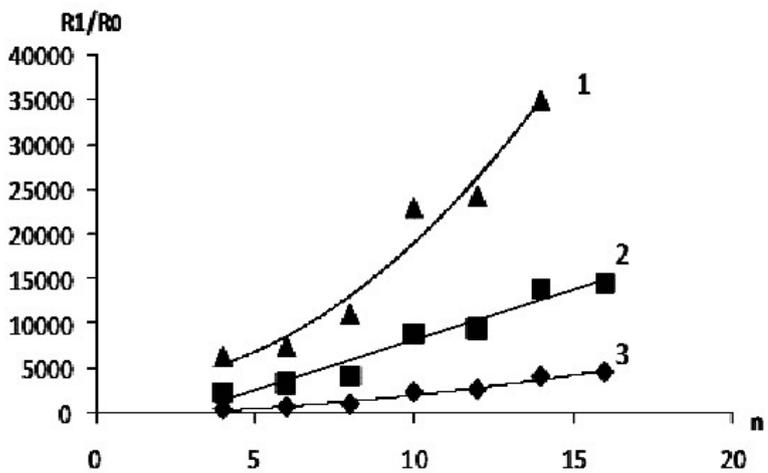


Рисунок 3 – Зависимость относительного сопротивления резистора от количества лучей

Подобная форма частотнозависимых резисторов обеспечит рост сопротивления на перечисленных частотах более чем в 20000 раз. Таким образом, только изменяя форму резистора, можно добиться существенного увеличения его сопротивление на высоких частотах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУТЫ

1 Коробейников, С.М. Уменьшение энергии, поглощаемой ОПН при воздействии грозового импульса / С.М. Коробейников, А.А. Челаэнов, Л.И. Сарин // Всероссийский семинар «Выбор и эксплуатация ОПН в электрических сетях 6-35 кВ, 15-18 мая 2001 г., Москва: сб. докл. /РАО ЕЭС.

2 Один из способов уменьшения энергии, поглощаемой ОПН при воздействии грозового импульса / С.М. Коробейников, А.П. Дрожжин, Л.И. Сарин, А.А. Челаэнов // Научные аспекты и актуальные проблемы разработки, производства, использования и применения ОПН: сб.

докл. Всерос. науч.-техн. совещ., 8-10 окт. 2001 г., СПб / ОАО «Электрокерамика».

3 Коробейников, С.М. Скин-эффект в композиционных материалах / С.М. Коробейников, А.П. Дрожжин, Л.И. Сарин // Электричество. -2004. -№7. -С. 2-9.

4 Бабаева, Н.Р. Подавление высокочастотных перенапряжений в высоковольтных сетях и устройствах / Н.Р. Бабаева // Проблемы энергетики. -2005. -№4. - С. 48-56.

5 Базелян, Э.М. Физика молнии и молниезащиты / Э.М. Базелян, Ю.П. Райзер. -М.: Физмалит, 2001. -320 с.

6 Илюшов, Н.Я. Измерение параметров макета многолучевого частотнозависимого резистора / Н.Я. Илюшов, М.В. Свириденко // Наука. Промышленность. Оборона: тр. XI Всерос. науч.-техн. конф. / Новосиб. гос. техн. ун-т. -Новосибирск, 2010.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *моделирование, частотнозависимый резистор, сопротивление, частота, защита от перенапряжений, скин-эффект, коммутационные перенапряжения*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Илюшов Николай Яковлевич, ст. преподаватель ГОУ ВПО «НГТУ»*

*Вагин Денис Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»*

*Назаров Сергей Геннадиевич, адъюнт ГОУ ВПО «НГТУ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630093, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»*

## **ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ОБЪЕКТОВ ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТА ГАЗА**

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

ООО «Производственное научное предприятие «Болид»

**Ю.М. Денчик, Д.С. Кудряшов, В.Г. Сальников, Л.И. Сарин**

**POWER OF INDUSTRIAL AND MUNICIPAL FACILITIES AND TRANSPORT GAS PRODUCTION**

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

**Industrial scientific enterprise «Bolid»**

**Ju.M. Denchik, D.S. Kudryashov, V.G. Salnikov, L.I. Sarin**

The substantiation of the indicators of quality of electric energy, leading to a violation-level electromagnetic compatibility of technical means for conductive electromagnetic interference propagating through the wires.

*Keywords: electricity, transport, household objects, gas, electric substation*

Дается обоснование определения показателей качества электрической энергии, приводящих к нарушению уровня электромагнитной совместимости технических средств для кондуктивных электромагнитных помех, распространяющихся по проводам.

ГОСТ 13109-97, нормы показателей качества электрической энергии (КЭ), устанавливаемые, являются уровнями электромагнитной совместимости (ЭМС) для кондуктивных электромагнитных помех (ЭМП) в системах электроснабжения (СЭС) общего назначения. При соблюдении требуемых норм обеспечивается ЭМС электрических сетей СЭС общего назначения и электрических сетей потребителей электрической энергии и технических средств, подключенных к этим сетям [1-2].

Нестандартные показатели (КЭ) усложняют электромагнитную обстановку (ЭМО) в электрических сетях. Из-за этого нарушаются уровни ЭМС технических средств, в том числе и самих сетей как рецепторов, для кондуктивных ЭМП, распространяющихся по проводам. В результате снижается качество функционирования технических средств. Анализ директивных документов позволяет сформировать следующие общие выводы об искажающем аспекте качества электроэнергии [3-4]:

– электрические сети переменного тока не представлены как рецепторы, то есть как технические средства, регулирующие на электромагнитные сигналы и (или) помехи, обусловленные нестандартными показателями КЭ;

– отсутствуют методические указания по расчету кондуктивных ЭМП, распространяющихся по высоковольтным сетям, и параметров ЭМС в сложной ЭМО, обусловленной некачественной электроэнергией в сетях среднего и высокого классов напряжения системы электроснабжения общего назначения;

– отсутствуют рекомендации по обеспечению ЭМС технических средств в сетях среднего и высокого классов напряжения;

– отсутствуют методические рекомендации по мониторингу за кондуктивными ЭМП, распространяющимся по сетям электроэнергетической системы.

В связи с этим уточняются различия между стандартными и нестандартными показателями КЭ. В общем случае эти показатели выполняют двойную функцию: характеризуют электроэнергию как товар и определяют характеристику ЭМС для кондуктивных ЭМП. При этом под характеристикой ЭМС подразумевается характеристика технического средства, отражающая возможность его функционирования в заданной ЭМО, под которой понимается совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, частотном и временном диапазонах [1] электроэнергии к товару на оптовом и розничном рынках дано следующее определение – «Электроэнергия, уступающая в процессах купли продажи как товар, отличается особыми потребительскими свойствами: совпадением во времени процессов производства, транспортировки и потребления; зависимостью характеристик качества электроэнергии от процессов ее потребления; невозможностью хранения и возврата не качественной электроэнергии».

Одиннадцать показателей КЭ характеризуют электроэнергию по напряжению и частоте (таблица) [1].

*Таблица – Интервалы усреднения результатов измерения показателей качества электрической энергии*

Показатель качества электрической энергии	Интервал усреднения, с
Установившееся отклонения напряжения	60
Размах изменения напряжения	–
Доза фликера	–
Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения	3
Коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения	3
Коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности	3
Коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности	3
Отклонение частоты	20
Длительность правила напряжения	–
Импульсное напряжение	–
Коэффициент временного напряжения	–

В СЭС общего назначения устанавливаются те или иные значения показателей КЭ в зависимости от её режима, определяемого технологическим процессам производства распределения и потребления электроэнергии. Эти показатели КЭ характеризуются искажениями, к которым относятся: отклонение частоты, отклонение напряжения, колебания напряжения, провалы напряжения, временное перенапряжение, импульсы напряжения. Искажения обуславливаются случайными электромагнитными процессами в сетях.

Среди показателей КЭ, обозначенных в стандарте [1], особое место занимают те, что не могут быть получены через непосредственные измерения, а только при проведении анализа электрического сигнала. Это показатели, которые определяют по усредненным интервалам. На интервале усреднения формируется одно значение измеряемого показателя КЭ как результат устранения N-ых измерений, каждое из которых получается как среднее значение на временном интервале длительностью от 8 до 16 периодов основной частоты (0,16-0,32) с. Эти периоды представляются изматериальными окнами. Каждое усредненное значение показывает показатель КЭ и представляет текущее значение, измеренное в реальном времени, а их совокупность за 24 ч – массив, представляемый в результате статистической обработки в форме гистограммы распределения измеряемого показателя КЭ. Таким образом, массив измеренных за сутки усредненных значений составляет: для отклонений напряжения – 1440; для отклоненной частоты – 4320, для каждого из остальных показателей КЭ – 28800 [3].

В настоящее время в качестве независимых источников электроснабжения промышленных площадок (ПП) компрессорных цехов (КЦ) и жилых поселков объектов добычи и транспорта газа начинают активно внедряться электростанции собственных нужд (ЭСН) на базе мощных генераторных агрегатов. При этом должны выполняться нормы показателей качества электрической энергии [1, 4].

При исследовании предприятий газовой промышленности, в частности, промышленных площадок компрессорных станций крайнего Севера, следует учитывать специфику таких объектов с точки зрения надёжности схем электроснабжения технологических объектов

промплощадок и вахтовых жилых поселков:

- целесообразным вариантом обеспечения электроэнергией объектов ПП является использование собственных стационарных электростанций с резервированием от нескольких автономных дизельных или газопоршневых электростанций (ДЭС, ПАЭС и др.);

- наличие большого количества цепей питания и связи, нуждающихся в защите, между узлами подключения, КТП компрессорных цехов (КЦ), АВО газо, щитовыми устройствами КЦ и др. При этом устройства защиты от импульсных напряжений (УЗИП) на базе разрядников, варисторов и шнурящих диодов в цепях ЭМП аппаратуры практически не используются;

- на всех ГПА новых компрессорных цехов на роторе компрессора устанавливается система магнитного подвеса, нарушения питания которого может привести к аварийному останова агрегата;

- качество электроэнергии (КЭ) в цепях питания 0,4 кВ ответственных технологических механизмов. В частности на системе управления магнитным подвесом (СУМП) существенно зависит от состава эквивалентной нагрузки ГПА. КЭ в цепях питания исполнительных механизмов может быть значительно снижено за счёт влияния большого количества частотнорегулируемых приводов вентиляторов.

Качество питания магнитного подвеса оказывает значительное влияние на надёжность работы ГПА. Анализ основных недостатков при наладке и эксплуатации систем магнитного подвеса выявил ряд проблем:

- зависимость работы шкафа управления от различных электромагнитных помех, в первую очередь от работы мобильных радиостанций;

- нестабильная работа СУМП при перепадах и скачках напряжения.

Показана необходимость выполнения следующих мероприятий, связанных с повышением надёжности эксплуатации СУМП:

- доработать блоки питания стоек СУМП с целью исключения отказов при кратковременном исчезновении внешнего питания. Схема питания СУМП низковольтных шкафах каждого ГПА КЦ-4 включает источник без перебойного питания (ИБП), что является решением указанной проблемы;

- привести анализ надёжности цифровых стоек КТМ-1С.

Целью работы является разработка предложений по измерению схемы электроснабжения ГПА, установки специальных фильтров в цепи питания магнитного подвеса (если необходимо) и, по возможности, снижению количества коммутаций при смене источников питания (ЭСН «Wartsila» – аварийная ДЭС), направленных на повышение надёжности эксплуатаций технологического оборудования сети 10/0,4 кВ КЦ-4 промышленной площадки (ПП) «Пуртазовская».

Новизна работы обеспечивается использованием современных математических моделей, создаваемых в инженерно-технических программных средствах Simulink и MATLAB при проведении расчётных исследований гармонического состава питающего напряжения 380 В, а также измеряемыми в сети 10/0,4 кВ ПП «Пуртазовская». Проведены экспериментальные измерения ряда параметров сети 10/0,4 кВ внешнего и внутреннего электроснабжения ПП Пуртазовская, определены характеристики высоковольтных включений LF1 «Merlin Gerin» в составе ячеек MKset Schneider Electric, а также разработаны предложения по изменению схемы питания СУМП ГПА КЦ-4 с целью повышения надёжности работы технологических механизмов и устройств ГПА.

Проведённые измерения качества электроэнергии во вторичных сетях цепей 10 кВ ПП «Пуртазовская» ООО «ГазпромТрансгазСургут» на соответствие нормам ГОСТ 13109-97 показал следующее.

В сети 10 кВ генератора №1 ЭСН Wartsila (Вяртсиля) наиболее значимые гармоники напряжения – 2, 3, 4, 5, 7; а наибольшее значение:

- 2-й гармоники по фазе А ..... 3,13%;
- 2-й гармоники по фазе В ..... 3,06%;
- 2-й гармоники по фазе С ..... 2,80%.

Качество электроэнергии в сети генератора №1 ЭСН (Wartsila) Вяртсиля *соответствует* требованиям ГОСТ 13109-97:

- по установившемуся отклонению напряжения;
- по коэффициенту искажения синусоидальности напряжения;
- по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности.

Качество электроэнергии в сети генератора №1 ЭСН (Wartsila) Вяртсиля *не соответ-*

ствуем требованиям ГОСТ 13109-97:

- по отклонению частоты;
- по коэффициенту  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения.

В сети 10 кВ генератора №3 ЭСН Wartsila (Вяртсиля) наиболее значимые гармоники в напряжении – 2, 3, 5, 6, 7; а наибольшие значения:

- 5-й гармоники по фазе А ..... 1,75%;
- 5-й гармоники по фазе В ..... 1,92%;
- 5-й гармоники по фазе С ..... 1,6%.

Качество электроэнергии в сети генератора №3 ЭСН Wartsila (Вяртсиля) *соответствует* требованиям ГОСТ 13109-97:

- по коэффициенту искажения синусоидального напряжения;
- по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности;
- по коэффициенту несимметрии напряжений по нулевой последовательности;
- по отклонению частоты.

Качество электроэнергии в сети генератора №3 ЭСН Wartsila (Вяртсиля) *не соответствует* требованиям ГОСТ 13109-97:

- по коэффициенту  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения.

В сети 0,4 кВ КТП ПЭБ №4 наиболее значимые гармоники в напряжении – 2, 3, 5, 7, 13, 17; а наибольшие значения:

- 5-й гармоники по фазе А ..... 0,88%;
- 5-й гармоники по фазе В ..... 0,94%;
- 5-й гармоники по фазе С ..... 1,01%.

Качество электроэнергии в сети КТП ПЭБ №4 *соответствует* всем требованиям ГОСТ 13109-97:

- по установившемуся отклонению напряжения;
- по коэффициенту искажения синусоидальности напряжения;
- по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности;
- по коэффициенту несимметрии напряжений по нулевой последовательности;
- по отклонению частоты;
- по коэффициенту  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения.

В сети 0,4 кВ дизельной электростанции «Звезда 1000» наиболее значимые гармоники в напряжении – 5, 7, 11, 13, 17, 19; а наибольшие значения:

- 5-й гармоники по фазе А ..... 6,17%;
- 5-й гармоники по фазе В ..... 6,18%;
- 5-й гармоники по фазе С ..... 5,87%.

Качество электроэнергии в сети дизельной электростанции «Звезда 1000» *соответствует* требованиям ГОСТ 13109-97:

- по коэффициенту искажения синусоидального напряжения;
- по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности;
- по коэффициенту несимметрии напряжений по нулевой последовательности;
- по отклонению частоты.

Качество электроэнергии в сети дизельной электростанции «Звезда 1000» *не соответствует* требованиям ГОСТ 13109-97:

- по установившемуся отклонению напряжения;
- по коэффициенту  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Взамен ГОСТ 13109-87; введ. 01-01-1999. - Минск: Изд-во стандартов, 1998. -31 с.

2 Кондуктивные электромагнитные помехи в замкнутых сетях газодобывающих предприятий / М.Г. Вишнягов [и др.] // Сиб. науч. вестн. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. – Новосибирск, 2010. -Вып. XIV. - С.85-88.

3 Денчик, Ю.М. Определение параметров поля событий в электрических сетях при сложной электромагнитной обстановке / Ю.М. Денчик // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№2. -С. 418-424.

4 Асосков, С.М. Теоретическое исследование возможности обеспечения электромагнитной совместимости за счёт подавления кондуктивных электромагнитных помех / С.М. Асосков, Е.В. Иванова, В.Г. Сальников // Сиб. науч. вестн. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2010. -Вып. XIV. -С. 83-85.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электроснабжение, транспорт, бытовые объекты, газ, электрическая подстанция  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Кудряшов Дмитрий Семенович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Сальников Василий Герасимович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Сарин Леонид Иванович, директор ООО «ПНП «Болид»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
630015, г. Новосибирск, ул. Электrozаводская, 2, корп. 6, ООО «ПНП «Болид»

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВРЕМЕНИ ВЫХОДА ДУГОГАСЯЩЕГО РЕАКТОРА С ПОДМАГНИЧИВАНИЕМ НА УСТАНОВИВШИЙСЯ РЕЖИМ КОМПЕНСАЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ**

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
ОАО «Газпром»  
ООО «Производственное научное предприятие «Болид»  
ОАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Урала»

**Ю.М. Денчик, Д.С. Кудряшов, В.Г. Сальников,  
Д.А. Шкитов, Л.И. Сарин, И.Н. Дмитриев**

**MATHEMATICAL MODEL OF EXIT TIME OF AN ARC CONTROLLING REACTOR WITH BIASING ACCORDING TO THE ESTABLISHED MODE OF INDEMNIFICATION IN AN AVERAGE PRESSURE ELECTRIC NETWORK**  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
«Gazprom»  
«Industrial scientific enterprise «Bolid»  
«Interregional distribution grid company of Urals»  
Ju.M. Denchik, D.S. Kudryashov, V.G. Salnikov, D.A. Shkitov, L.I. Sarin, I.N. Dmitriev

The results of researches of exit time of an arc controlling reactor with biasing according with the help of the method of experiment planning are described in this article. The mathematical model of this time is defined.

*Keywords: arcing reactor parameter, magnetization, experiment, mode of compensation, the capacitive current*

Приведены результаты исследований времени выхода дугогасящего реактора с подмагничиванием методом планирования эксперимента. Определена математическая модель этого времени.

В электроэнергетике России общее количество сетей (секций) среднего напряжения (от 6 до 35 кВ), в которых необходимо применять компенсацию ёмкостного тока замыкания фазы на землю, составляет более 2600 или около 11% от всех сетей этого класса напряжения. Эти сети имеются, в основном, в региональных электроэнергетических системах (ЭЭС) с развитой промышленностью.

В сетях с компенсацией ёмкостного тока применяется до 2000 ступенчатых дугогасящих реакторов (ДГР) (75,5% от общего числа) и 440 плавнорегулируемых реакторов (24,5%). Около 7% от плавнорегулируемых реакторов составляют ДГР с подмагничиванием, которые только осваиваются эксплуатацией в автоматическом режиме работы. При этом одной из научно-технических задач их внедрения является исследование переходных режимов при металлических и дуговых однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ). Требуется определить какие преимущества даёт ДГР с подмагничиванием в первый момент времени однофазного замыкания на землю. Насколько он эффективнее гасит дугу при дуговом ОЗЗ: традиционных ДГР со ступенчатым регулированием тока серии РЗДСОМ и других, в которых встроен переключатель, имеющий 5 положений с приводом на стенке бака; плунжерных реакторов серии РДМР и других, дугогасящего устройства ТАДТМ-30/10, в котором применяется трёхфазный двухобмоточный пятистержневой трансформатор, размещённый в одном баке с реактором.

В качестве объекта исследования выбран ДГР с подмагничиванием серии РУОМ с системой автоматической настройки компенсации (САНК), без которой нормальное функционирование реактора невозможно. Исследования проводились на подстанции 110/10 кВ «Го-

родская» Заволжского ПО филиала ОАО «МРСК Волги» (г. Саратов) по инициативе и участии специалистов этой электросетевой компании [1]. Нейтраль сети 10 кВ заземлена через ДГР с подмагничиванием типа РУОМ-190/11 с системой автоматической настройки типа САНК 4.2. Диапазон непрерывного изменения тока реактора составляет от 2,5 до 30 А при этом номинальный ток шести часовой нагрузки составляет 25 А, а ток двухчасовой нагрузки от 25 до 30 А.

Заявленное время выхода на режим компенсации с выдачей индуктивного тока при любых ОЗЗ (металлических и дуговых) согласно предварительно установленной уставке САНК составляет от 0,01 до 0,02 с [2]. Однако, столь малое время выхода на режим достигается только при условии соответствующей настройки углов регулирования тиристоров и определённой индукции реактора [3]. Выполнить эти требования в условиях эксплуатации практически невозможно. К тому же тезис о практически безынерционном выходе реактора типа РУОМ на установившейся режим до настоящего времени подтверждался многочисленными расчётными экспериментами, а также опытами на стенде завода изготовителя. Относительно недавними можно считать полевые испытания реактора типа РУОМ-480/11 при металлических ОЗЗ в сети 10 кВ и записи переходных процессов регистратором «Парма» [4], частота дискретизации которого не превышает 1 кГц. Этого явно недостаточно для корректной записи сигналов при ОЗЗ (особенно дуговых), поскольку частота переходного процесса до достижения установившегося значения тока замыкания на землю достигает по некоторым оценкам от 250 до 1000 Гц в сетях с воздушными линиями и от 1500 до 3000 Гц – в сетях с кабельными линиями [5].

На рисунке 1 приведена схема подключения измерительной аппаратуры и оборудования для исследования ДГР с подмагничиванием.

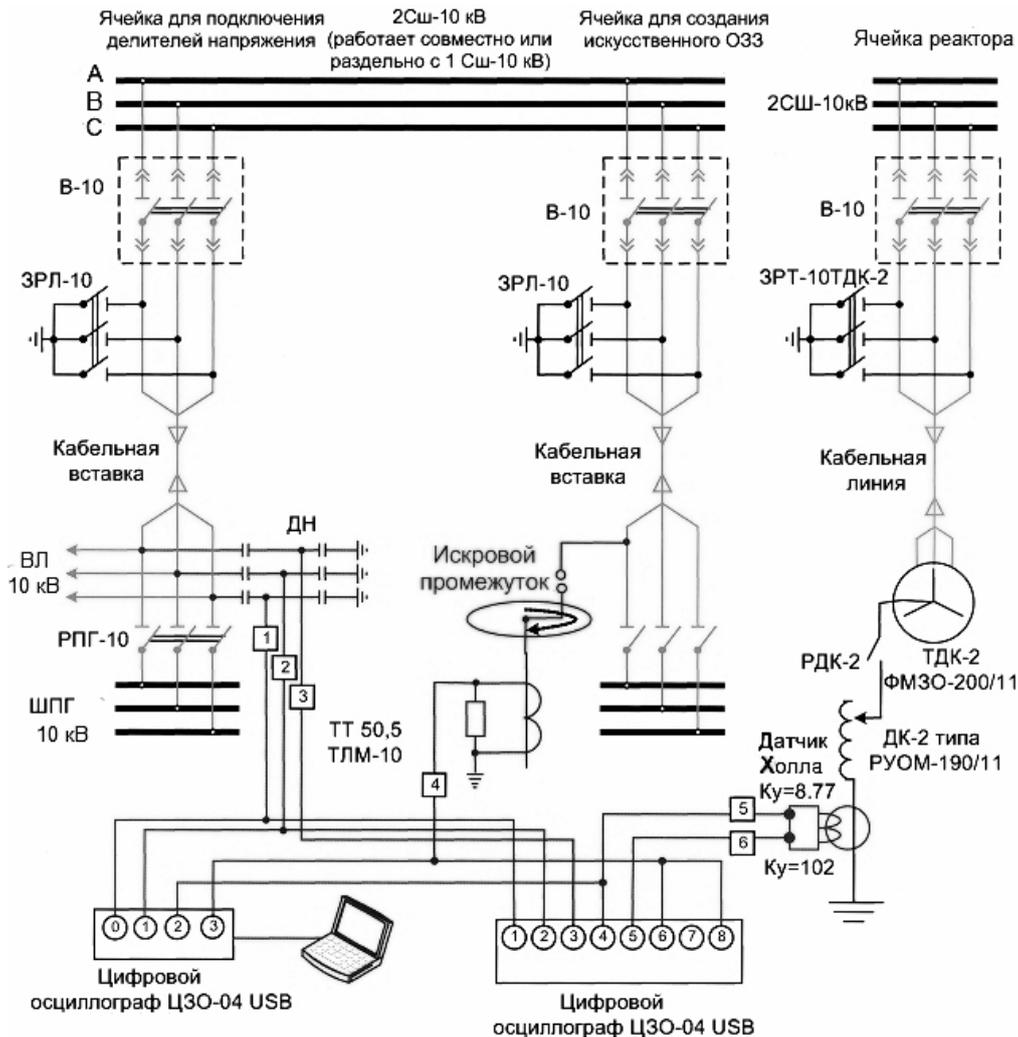


Рисунок 1 – Схема подключения измерительной аппаратуры при экспериментальном исследовании эффективности ДГР типа РУОМ-190/11 при металлических и дуговых однофазных замыканиях на землю в сети 10 кВ

Перед проведением однофазных замыканий на землю в цепи заземления РУОМ-190/11 было зафиксировано появление тока с амплитудой периодических «биений» до 0,6–0,8 А в течении примерно 1,0-1,5 мин. после включения системы САНК в работу (рисунок 2).

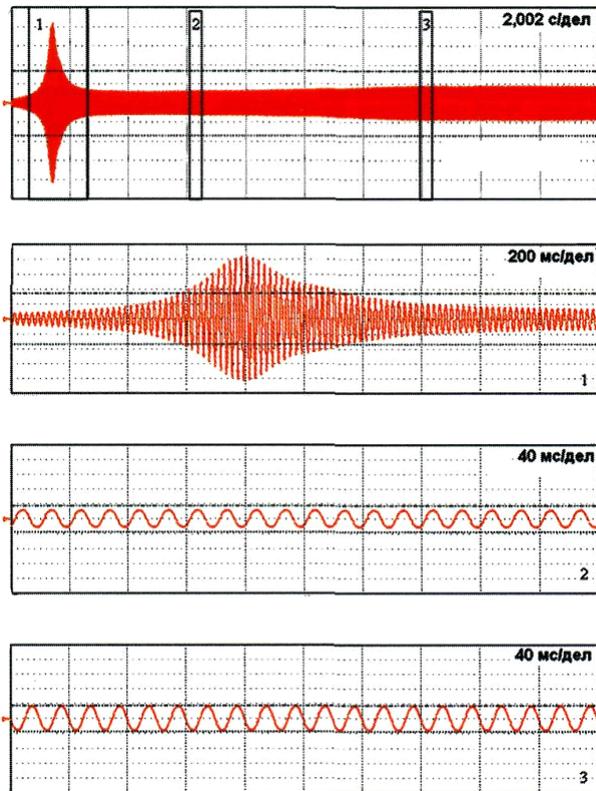


Рисунок 2 – Сигнал тока в цепи заземления РУОМ-190/11, зафиксированный в отсутствие в сети ОЗЗ при работе системы автоматической настройки после включения САНК 4.2 в работу, действительный масштаб по вертикальной оси 0,2 А/дел.

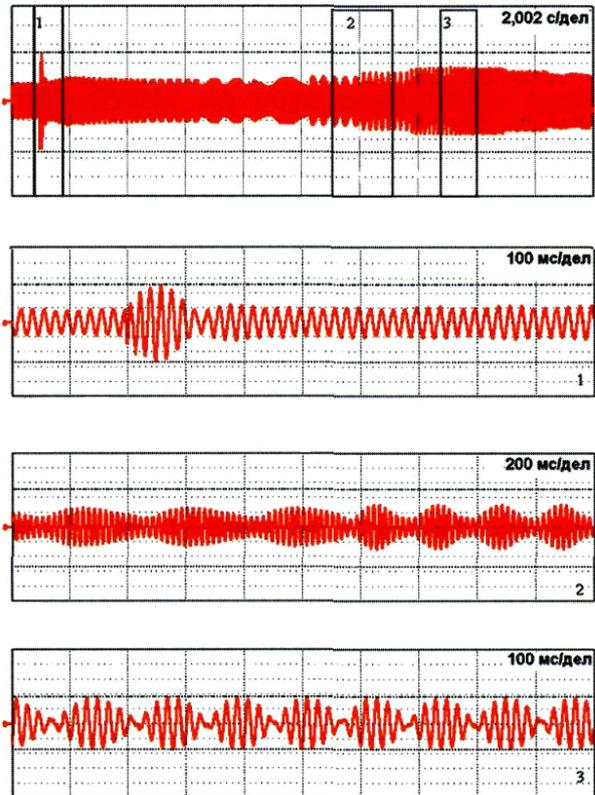


Рисунок 3 – Сигнал тока в цепи заземления РУОМ-190/11, зафиксированный в отсутствие в сети ОЗЗ при работе системы автоматической настройки после включения САНК 4.2 в работу (изменение амплитуды тока в процессе подстройки реактора), действительный масштаб по вертикальной оси 0,2 А/дел.

Позже, по истечении указанного времени было отмечено изменение амплитуды тока в процессе подстройки реактора (рисунок 3). Это явление обусловлено поиском резонансной точки (в контуре нулевой последовательности – частоты резонанса между суммарной ёмкостью сети на землю и индуктивностью подмагниченного реактора) и последующим подмагничиванием реактора по команде системы управления. Изменение частоты огибающей биения связано, вероятно, с динамикой изменения углов открытия тиристорov в процессе предварительного подмагничивания реактора.

В случае раздельной работы 2СШ 10 кВ, когда индуктивный ток предварительно подмагниченного реактора составляет порядка 10 А, наблюдалось значительное качание стрелки вольтметра контроля напряжений. При этом сведений о повреждениях в сети 2СШ 10 кВ не поступало, что свидетельствует о «раскачивании» нейтрали во время определения требуемой уставки реактора РУОМ-190/11.

Замеренное напряжение смещения при определении регулятором САНК 4.2 резонансной частоты контура нулевой последовательности на 2СШ 10 кВ составляло до 500 В (8,7% от фазного напряжения сети).

Судя по всему, обнаруженные процессы связаны с алгоритмом работы САНК: при предварительном подмагничивании ДГР с выходом на индуктивный ток, соответствующий определённой части номинальной мощности РУОМ-190/11, необходимо пройти значение 6,2 А, равное ёмкостному току данной секции. Поэтому в сети 2СШ 10 кВ возникает кратковременный резонанс, вызывающий появление существенной несимметрии фазных напряжений.

Благодаря комплексному подходу к записи (осциллографированию) переходных процессов при ОЗЗ, задача по определению времени выхода на установившийся режим ком-

пенсации ДГР с подмагничиванием  $t_y$  (с) при металлическом ОЗЗ представлена как экстремальная, решение которой осуществляется методом планирования эксперимента. Основными факторами, влияющими на  $t_y$ , являются ток замыкания фазы на землю, представленный в относительном значении (отнесённый к максимальному значению непрерывно изменяющегося тока ДГР двух часовой нагрузки), и момент замыкания, который обуславливает напряжение фазы величиной от 0 до  $U_{\phi\max}$  (в относительных единицах от 0 до 1,0). Характеристика влияющих факторов приведена в таблице.

*Таблица – Характеристика факторов, влияющих на время выхода ДГР с подмагничиванием на установившийся режим компенсации*

Фактор	Основной уровень $x_{0i}$	Интервал варьирования $h_i$	Верхний уровень $x_{i\max}$	Нижний уровень $x_{i\min}$
$x_1 \rightarrow I$	0,395	0,185	0,58	0,21
$x_2 \rightarrow U_{\phi\max}$	0,56	0,43	0,99	0,13

Опыты проводились в соответствии с планом эксперимента. Получены осциллограммы тока в цепи заземления ДГР, остаточного тока ОЗЗ и фазных напряжений. Показано, что с вероятностью 0,95 результаты измерений являются равнозначными. Информативность экспериментального материала не вызывает сомнений. Доказана статистическая значимость коэффициентов математической модели

$$t_y = 6,8 - 1,12I - 2,1U_{\phi\max} + 1,56/U_{\phi\max} \quad (1)$$

Адекватность математической модели проверялась на основе данных дополнительного эксперимента в центре плана опытов. Результаты этого опыта показали, что выполнено главное требование научного эксперимента – воспроизводимость результатов. Относительная ошибка расчётов  $t_y$  с вероятностью 0,95 не превышает  $\pm 5\%$ . ДГР выходит на установившийся режим компенсации тем быстрее, чем больше он загружен. Областью применения этой математической модели являются сети 10 кВ, нейтрали которых заземлены через ДГР с подмагничиванием.

Учитывая, что  $0 < I < 1$ ;  $0 < U_{\phi\max} < 1$ , получается неравенство

$$5 < t_y < 6,8 \quad (2)$$

Таким образом, время выхода ДГР с подмагничиванием на установившийся режим компенсации составляет несколько секунд. Следовательно, реактор этого типа также как ДГР со ступенчатым регулированием и плунжерные реакторы не отличаются друг от друга в первый момент ОЗЗ и не ограничивает перенапряжения, которые возникают при однофазных замыканиях, если не имеют резонансной настройки. Применение ДГР с определённой недокомпенсацией ёмкостного тока замыкания фазы на землю (реальный режим работы) обуславливает увеличение смещение нейтрали при несимметричных фазных проводимостей и большей опасностью, чем сеть с изолированной нейтралью, для изоляции неполнофазных режимов. Для устранения этого недостатка ДГР рекомендуется параллельно включать резистор. Однако, при этом следует учитывать сближение добротности контура ДГР [5].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Экспериментальное исследование эффективности дугогасящего РУОМ при металлических и дуговых однофазных замыканиях на землю в сети 10 кВ / И.Н. Дмитриев [и др.] // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехн. пром-сть. -2009. -№3. -С. 126-130.
- 2 Управляемые подмагничиванием дугогасящие реакторы с автоматической компенсацией ёмкостного тока замыкания на землю для сетей 6-35 кВ / А.М. Брянцев [и др.] // Электричество. -2000. -№7. -С. 59-68.
- 3 Брянцев, А.М. Управляемые подмагничиванием электрические реакторы – как элемент электроэнергетической системы / А.М. Брянцев // Электротехника. -2003. -№1. -С. 2-5.
- 4 Результаты сетевых испытаний и опыт эксплуатации дугогасящих реакторов, управляемых подмагничиванием / Б.И. Базылев [и др.] // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехн. пром-сть. -2007. -№5. -С. 31-34.

5 Высокоомные резисторы для заземления нейтрали сети 35 кВ на подстанциях ВЭС ОАО «Кузбассэнерго» / Д.С. Кудряшов [и др.] // Ограничение перенапряжений и режимы заземления нейтрали сетей 6-35 кВ: тр. 3 всерос. науч.-техн. конф. -Новосибирск, 2004. -С. 50–55.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** дугогасящий реактор, параметр, подмагничивание, эксперимент, режим компенсации, ёмкостной ток

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Кудряшов Дмитрий Семенович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Сальников Василий Герасимович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Шкитов Денис Александрович, главный технолог управления энергетики ОАО «Газпром»  
Сарин Леонид Иванович, директор ООО «ПНП «Болид»  
Дмитриев Игорь Николаевич, канд. техн. наук, начальник департамента ОАО «МРСК Урала»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
117997, Москва, ГСП-7, ул. Наметкина, 16, ОАО «Газпром»  
630015, г. Новосибирск, ул. Электrozаводская, 2, корп. 6, ООО «ПНП «Болид»  
620026, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 140, ОАО «МРСК Урала»

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ**

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет»

**Е.Н. Гусельникова, Н.А. Фальшина, А.С. Барсуков**

**THAT REDUCTION OF SMALL HYDROPOWER STATIONS IN NOVOSIBIRSK REGION**  
«Novosibirsk state university of architecture and civil engineering»  
E.N. Guselnikova, N.A. Falshina, A.S. Barsukov

This article offers the classification of small hydro-electric power stations according to characteristic features most widely used in special literature. The examples of small hydro-electric power stations design implemented in Novosibirsk region are also given in the article.

*Keywords: classification, small hydro-electric power station, turbine, renewable energy*

Приводится классификация малых ГЭС по характерным признакам наиболее часто встречаемым в литературе. Приводятся примеры выполняемых проектных работ малых ГЭС в Новосибирской области.

Известно, что использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии является частичным решением проблем снабжения электроэнергией если не крупных промышленных объектов, то хотя бы коммунальных или сельскохозяйственных. Из всех возобновляемых источников энергии наиболее распространенным является использование возобновляемых ресурсов гидроэнергии малых рек. Малые ГЭС, из всех возобновляемых источников энергии, являются более экологичным и менее затратным направлением, то есть удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к подобным объектам.

В настоящее время в литературе предлагаются классификации малых ГЭС по различным признакам: по мощности, напору, расходу воды, вариантам установки, условиям эксплуатации, конструктивному исполнению турбины и т.д.

В зависимости от величины установленной мощности малые гидроэлектростанции принято делить на три группы: малые ГЭС; мини ГЭС; микро ГЭС. В некоторых странах малыми ГЭС называют гидроэлектростанции с установленной мощностью до 2 МВт (Италия, Норвегия, Швеция, Швейцария, Венесуэла и др.). Наиболее часто к малым ГЭС относят гидроэлектростанции, установленная мощность которых не превышает 5 МВт (Австралия, Испания, Индия, Франция, Канада и др.). В России для малых ГЭС (мощностью до 30 МВт) определены несколько иные границы установленной мощности: мини ГЭС мощностью от 1 МВт до 30 МВт; микро-ГЭС мощностью менее 1 МВт.

Такое разнообразие классификаций вызвано различием природных условий, уровнем развития энергетического хозяйства стран, особенностью согласования и утверждения проектов малых ГЭС и прочими условиями.

Следует отметить, что 1 кВт электроэнергии на малых гидроэлектростанциях дороже, чем на средних, тем более на крупных. Поэтому наиболее эффективно создание малых ГЭС

на базе когда-либо ранее существовавших, где сохранились основные гидротехнические сооружения, возведении зданий ГЭС на существующих каналах, или введении их в Комплекс сооружений гидроузлов неэнергетического назначения, которых в России насчитывается более тысячи, и используются они лишь в рекреационных, водохозяйственных и мелиоративных целях. Тем более, что это сразу снимает ряд вопросов, связанных с решением экологических проблем, возникающих при создании новых водохранилищ.

На малых реках водохранилища создаются в пределах поймы реки, значительный полезный объем при этом отсутствует. Провести регулирование, даже суточное, достаточно проблематично. В этом случае уровень воды в верхнем бьефе следует поддерживать постоянным, этим обеспечивается необходимая для нормальной работы агрегатов величина напора. Кроме этого при глубокой зимней сработке водохранилища в начале весеннего половодья, ввиду малых напоров, гидроэлектростанции могут не работать, поэтому малые ГЭС должны рассматриваться как резервный источник электроэнергии.

На кафедре ГТСГ НГАСУ (Сибстрин) выполнялись проектные работы для двух ранее существовавших в Новосибирской области малых гидроэлектростанций: Киикской на реке Иня (Тогучинский район) и Сузунской на реке Н. Сузун (Сузунский район).

Киикская ГЭС с установленной мощностью 1,2 МВт имеет максимальный напор 7,5 м, минимальный напор 4,2 м. В состав гидротехнических сооружений входит: здание ГЭС, водосливная плотина, левобережная земляная плотина и правобережная земляная плотина. Здание ГЭС руслового типа, было оборудовано тремя вертикальными гидротурбинами ПЛ-10/101 мощностью 406 кВт с диаметром рабочего колеса 1,8 м, синхронным гидрогенератором мощностью 400 кВт. В 1973 г. в результате аварии основное механическое оборудование было разрушено. В последующие годы приведены в полную негодность. При выполнении проектных работ в НГАСУ (Сибстрин) на кафедре ГТС и гидравлики и подборе оборудования учитывалась конструкция оставшегося здания ГЭС. Этим и объясняется принятие прямоугольной турбинной камеры и прямоугольного отводящего лотка.

При выполнении проектных работ по Сузунскому гидроузлу в составе гидротехнических сооружений рассматривались: водослив практического профиля, береговые устои для сопряжения водосливной части плотины с берегом; плотина из местных материалов, шлюз-водосброс может быть использован для пропуска строительных расходов. Для предотвращения размыва берегов предусмотрено крепление берегов водохранилища.

В настоящее время помимо существовавшего ранее стандартного оборудования можно рассмотреть другие конструктивные варианты и выбрать гидроагрегат, снабженный турбиной и генератором, размещаемыми на одном основании. Такая схема обладает определенными преимуществами: при установке моноблочного гидроагрегата облегчается его монтаж и эксплуатация; при использовании двух агрегатов появляется возможность ремонта одного из них без прекращения выработки электроэнергии; увеличивается диапазон расходов, которые можно пропустить через ГЭС; моноблочный гидроагрегат имеет сравнительно малые размеры, что имеет важное значение с точки зрения объемов работ и при установке такого оборудования на существующем гидроузле упрощается технология производства работ.

Установленная мощность Сузунской МГЭС определена в ходе выполнения водно-энергетических расчетов. Для маловодного года (таблица 1) было определено изменение мощности в течение года.

*Таблица 1 – Изменение среднемесячной мощности водотока в маловодный год, кВт*

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
128	137	165	1354	244	119	112	115	113	120	124	91

По полученным данным была построена кривая обеспеченности (рисунок 1). В качестве гарантированной принималась мощность с кривой обеспеченности, соответствующая 75% обеспеченности.

Расчетами была подтверждена целесообразность установки дополнительной мощности равной 75 кВт. Резервная мощность принимается равной нулю, потому как станция располагается в зоне действия энергосистемы. Таким образом, установленная мощность составила 150 кВт. Максимальный напор 6,5 м, минимальный напор 2,5 м. Расход через одну турбину 1,2 м<sup>3</sup>/с.

Предлагаемая компоновка гидроузла показана на рисунке 2. Здание ГЭС предлагается приплотинное, одноэтажное с подземной частью под устройство отводящего лотка, подвод

воды от водоприемника осуществляется по водоводам диаметром 1 м.

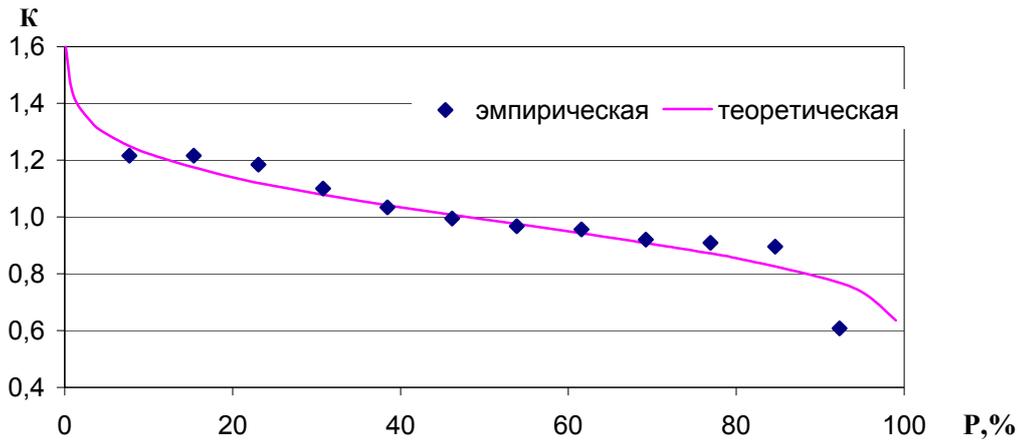


Рисунок 1 – Зависимость модульного коэффициента от обеспеченности мощности

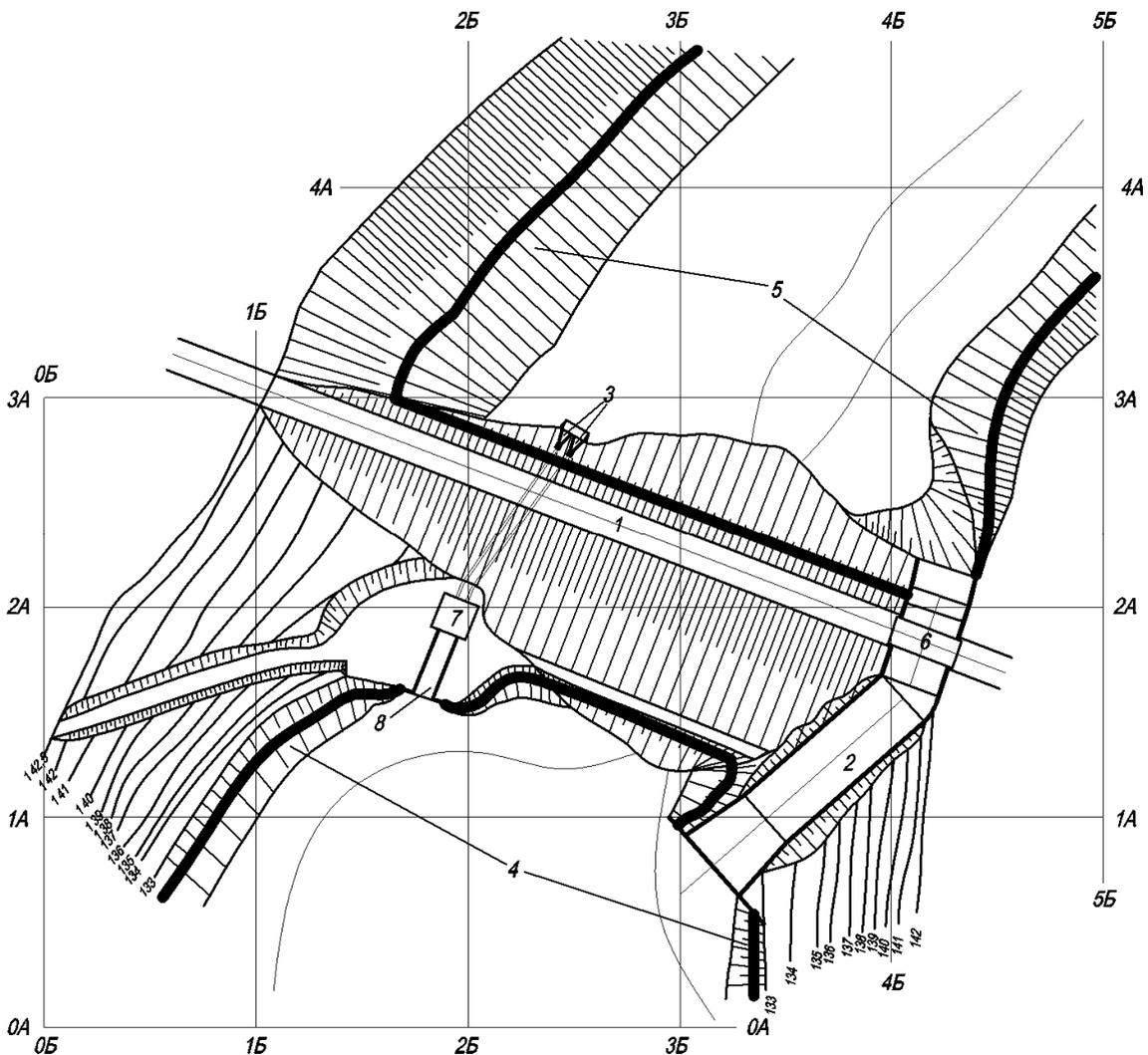


Рисунок 2 – Гидроузел на реке Нижний Сузун: 1-глухая плотина; 2-быстрое; 3-водоприемник ГЭС; 4-берегоукрепление в нижнем бьефе (НБ); 5-берегоукрепление в верхнем бьефе (ВБ); 6-автомобильный мост; 7-здание ГЭС; 8-отводящий лоток

В пользу создания указанных выше малых ГЭС, помимо того что появится местный источник электроэнергии можно привести следующее: уменьшится эрозия почвы благодаря снижению колебаний уровня грунтовых вод; улучшатся условия рыболовства; создадутся

благоприятные условия для обитания водоплавающей птицы; создадутся условия для устойчивого водоснабжения населения.

К сожалению, малая гидроэнергетика не находит должного применения. Так в Новосибирской области в настоящее время нет действующих малых гидроэлектростанций. Среди факторов, тормозящих их строительство в России, большинство экспертов называют неполную информированность потенциальных пользователей о преимуществах применения небольших гидроэнергетических объектов; недостаточную изученность гидрологического режима и объемов стока малых вод; низкое качество действующих методик и рекомендаций, что является причиной серьезных ошибок в расчетах; не разработанность методик оценки и прогнозирования возможного воздействия на окружающую среду и хозяйственную деятельность подобных объектов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** классификация, малая ГЭС, турбина, возобновляемые источники энергии  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Гусельникова Елена Николаевна, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГАСУ»  
 Фальшина Наталья Анатольевна, инженер ГОУ ВПО «НГАСУ»  
 Барсуков Артем Сергеевич, инженер ГОУ ВПО «НГАСУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, ГОУ ВПО «НГАСУ»

## **МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

**ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»**

**А.Ф. Бурков**

**METHOD AND ALGORITHM FOR CALCULATING PARAMETERS OF SHIP ELECTRIC DRIVES**  
 «Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»  
 A.F. Burkov

Describes the method and algorithm parameters calculation of ship's electric three-phase asynchronous motors.

*Keywords: ship electric drive, electric motor, replacement scheme, options*

Рассматривается методика и алгоритм расчета параметров трехфазных асинхронных двигателей судовых электроприводов.

При аналитических исследованиях различных режимов работы судовых электроприводов (ЭП), работающих в специфических условиях, во многих случаях необходимо количественное определение параметров электромеханических преобразователей – трехфазных асинхронных электродвигателей (ЭД).

Известны работы, в которых для ограниченного перечня асинхронных ЭД параметры схемы замещения определяются аналитически [1,2] или приводятся проектные для определенных серий ЭД [3]. В судовых ЭП используются различные ЭД как отечественного, так и зарубежного производства, не всегда имеющие необходимые паспортные данные. Таким образом, представляется актуальной задача определения параметров трехфазных асинхронных ЭД.

Большинство судовых ЭД являются трехфазными с короткозамкнутой обмоткой ротора. Обмотка статора соединена в «звезду» без нулевого провода. Эти замечания являются исходными при постановке задачи определения параметров трехфазных асинхронных ЭД по экспериментальным данным.

Для определения параметров представляется целесообразным использование Г-образной схемы замещения фазы ЭД (рисунок), в которой зажимы параллельной цепи контура намагничивания Т-образной схемы вынесены на первичные выводы [4]. Необходимо отметить, что параметры асинхронных ЭД не являются постоянными, так как

$$X_{\sigma s} = f(I_s); R_r = f(\omega_r); X_{\sigma r} = f(I_s); X_m = f(\Phi), (1)$$

где  $X_{\sigma s}$  – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора;

$I_s$  – ток статора;

$R_r, X_{\sigma r}$  – активное сопротивление и индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, соответственно;

- $\omega_r$  – угловая скорость ротора;
- $X_m$  – индуктивное сопротивление контура намагничивания;
- $\Phi$  – основной магнитный поток.

Строго говоря, определяемые параметры схемы замещения, будут соответствовать номинальному режиму, и рассчитываться с погрешностью тем большей, чем больше отклонение режима работы ЭД от номинального.

Активное фазное сопротивление обмотки статора  $R_{su}$  может быть определено, например, по методу амперметра и вольтметра и приведено к рабочему сопротивлению  $R_s$  по формуле [4]

$$R_s = \frac{235 + g_p}{235 + g_u} R_{su}, \quad (2)$$

- где  $g_p$  – рабочая температура обмотки ЭД;
- $g_u$  – температура, при которой производились измерения.

Исходными данными для определения остальных параметров схемы замещения ЭД являются:

- $U_{sn}$  – номинальное фазное напряжение статора;
- $I_0$  – ток холостого хода статора;
- $P_0$  – активная потребляемая мощность на холостом ходу;
- $\omega_0$  – угловая скорость поля статора;
- $I_{sh}$  – номинальный ток статора;
- $P_{sh}$  – номинальная мощность;
- $\cos \varphi_n$  – номинальный коэффициент мощности;
- $\omega_n$  – номинальная угловая скорость ротора двигателя,

которые определяются по опыту холостого хода и при номинальном моменте сопротивления на валу.

В Г-образной схеме замещения (см. рисунок) вектор приведенного тока  $i_r$  связан с вектором тока  $i_r'$  приведенного к цепи статора Т-образной схемы следующим соотношением

$$i_r = \frac{i_r'}{C}. \quad (3)$$

Аргумент  $C$  (3) в показательном виде определяется как [4]

$$C = \frac{U_{sh}}{E_0} \exp(-j\gamma). \quad (4)$$

Электродвижущая сила (ЭДС) двигателя при холостом ходе  $E_0$  в (4) можно определить из уравнения фазного напряжения ЭД [4]

$$E_0 = \frac{U_{sh} \cos(\varphi_0) - I_0 R_s}{\cos(\varphi_0 + \gamma)}. \quad (5)$$

Угол  $\varphi_0$  сдвига фаз между векторами напряжения  $\dot{U}_{sh}$  и тока  $i_0$  в режиме холостого хода в уравнении (5) определяется как

$$\varphi_0 = \arccos\left(\frac{P_0}{m_1 \cdot U_{sh} \cdot I_0}\right), \quad (6)$$

где  $m_1$  – число фаз обмотки статора.

Угол  $\gamma$  между векторами  $\dot{U}_{sh}$  и  $-\dot{E}_0$  в уравнении (5) может быть определен исходя из следующих соображений.

Полное эквивалентное сопротивление вторичного контура схемы замещения (рисунок) в номинальном режиме  $Z_{rn}$  равно

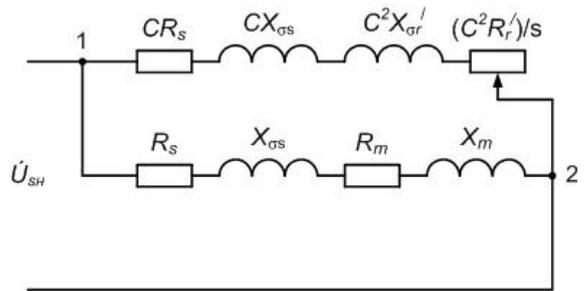


Рисунок – Г-образная схема замещения одной фазы трехфазных асинхронных электродвигателей

$$Z_{rH} = C(R_s + jX_{\sigma s}) + C^2 \left( \frac{R'_r}{s_H} + jX'_{\sigma r} \right). \quad (7)$$

Из (7), с учетом (4), после некоторых преобразований выводится уравнение для определения Г-образной схемы замещения

$$R'_r = \frac{E_0 s_H \{ E_0 [R_{rH} \cos(2\gamma) - X_{\sigma rH} \sin(2\gamma)] - U_{SH} [R_s \cos(\gamma) - X_{\sigma s} \sin(\gamma)] \}}{U_{SH}^2}. \quad (8)$$

Номинальное активное сопротивление  $R_{rH}$  и индуктивное сопротивление рассеяния  $X_{\sigma rH}$  ротора в (8) могут быть определены из схемы замещения по известным зависимостям [4].

Аналогично (8) из (7) выводится уравнение для  $X'_{\sigma s}$

$$X'_{\sigma s} = \frac{E_0 \{ E_0 [R_{rH} \sin(2\gamma) + X_{\sigma rH} \cos(2\gamma)] - U_{SH} [R_s \sin(\gamma) + X_{\sigma s} \cos(\gamma)] \}}{U_{SH}^2}. \quad (9)$$

Из выражения для номинального электромагнитного момента асинхронного ЭД [4] приведенное активное сопротивление обмотки ротора  $R'_r$  определяется как

$$R'_r = \frac{P_H \cdot \omega_0 \cdot s_H}{C^2 \cdot m_1 \cdot p \cdot I_{rH}^2 \cdot \omega_H}. \quad (10)$$

Обозначив:

$$h = \frac{P_H \cdot \omega_0}{m_1 \cdot p \cdot I_{rH}^2 \cdot \omega_H}; \quad k = \frac{U_{SH} \cdot R_s}{I_0 \cdot R_m}; \quad l = \frac{U_{SH}^2}{2I_0^2 \cdot R_m}, \quad (11)$$

уравнение (8) с учетом (10), после преобразований имеет вид

$$\begin{aligned} & \left[ [l + k \cos(\varphi_0) - R_{rH}]^2 + [k \sin(\varphi_0) - X_{\sigma rH}]^2 \right] \cos^2(2\gamma) + \\ & + 2[l + k \cos(\varphi_0) - R_{rH}](l + h) \cos(2\gamma) + (l + h)^2 - [k \sin(\varphi_0) - X_{\sigma rH}]^2 = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Решением этого уравнения относительно  $\gamma$  является выражение

$$\gamma = \frac{1}{2} \arccos \left[ \frac{-[l + k \cos(\varphi_0) - R_{rH}](l + h) \pm [k \sin(\varphi_0) - X_{\sigma rH}]}{[l + k \cos(\varphi_0) - R_{rH}]^2 + [k \sin(\varphi_0) - X_{\sigma rH}]^2 \times} \right. \\ \left. \times \left\{ [k \sin(\varphi_0) - X_{\sigma rH}]^2 + [l + k \cos(\varphi_0) - R_{rH}]^2 - (l + h)^2 \right\} - \right. \\ \left. - 2[l + k \cos(\varphi_0) - R_{rH}]^2 (l + h)^2 \right]. \quad (13)$$

Необходимо отметить, что уравнение (12) не тождественно (8), так как при приведении (8) к (12) были введены лишние корни, которые определяются при проверке, после их подставления в (8).

Активное сопротивление контура намагничивания  $R_m$  рассчитывается по данным опыта холостого хода

$$R_m = \frac{U_{SH} \cos(\varphi_0)}{I_0} - R_s. \quad (14)$$

Таким образом, определив по (6) и (13) углы  $\varphi_0$  и  $\gamma$ , соответственно, рассчитываются параметры схемы замещения ЭД  $R'_r$  и  $X'_{\sigma r}$ .

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора  $X_{\sigma s}$  определяется по данным опыта холостого хода

$$X_{\sigma s} = \frac{I_0 R_s \sin(\varphi_0 + \gamma) - U_{SH} \sin(\gamma)}{I_0 \cos(\varphi_0 - \gamma)}. \quad (15)$$

Аналогично (14) определяется индуктивное сопротивление контура намагничивания  $X_m$

$$X_m = \frac{U_{SH} \sin(\varphi_0)}{I_0} - X_{\sigma s}. \quad (16)$$

Необходимые для расчетов параметры  $L_{\sigma sn}$ ,  $L_{\sigma m}$  и  $L_{mm}$  определяются известными зави-

симостями [5]:

$$L_{\sigma sn} = f(X_{\sigma s}); L_{\sigma m} = f(X'_{\sigma r}); L_{mm} = f(X_m). \quad (17)$$

В случае, когда расчет  $\gamma$  при помощи (13) лишен математического или физического смысла, определяется область его допустимых значений. Граничными будут значения  $\gamma$  при  $X'_{\sigma r}(\gamma) = 0$  и  $X_{\sigma s}(\gamma) = 0$ .

Тогда из (9)

$$E_0 \{ E_0 [R_{rH} \sin(2\gamma_1) + X_{\sigma rH} \cos(2\gamma_1)] - U_{sh} [R_s \sin(\gamma_1) + X_{\sigma s} \cos(\gamma_1)] \} = 0. \quad (18)$$

Решение этого уравнения относительно  $\gamma_1$  имеет вид

$$\gamma_1 = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left[ \frac{2I_0 [U_{sh} R_s \sin(\varphi_0) - I_0 R_m X_{rH}]}{U_{sh}^2 + 2I_0 [I_0 R_m R_{rH} - U_{sh} R_s \cos(\varphi_0)]} \right]. \quad (19)$$

Исходя из уравнения (15)

$$I_0 R_s \sin(\varphi_0 + \gamma_2) - U_{sh} \sin(\gamma_2) = 0. \quad (20)$$

Угол  $\gamma_2$  из (20) определяется как

$$\gamma_2 = \operatorname{arctg} \left[ \frac{I_0 R_s \sin(\varphi_0)}{U_{sh} - I_0 R_s \cos(\varphi_0)} \right]. \quad (21)$$

Таким образом, значение угла  $\gamma$  для расчета параметров замещения ЭД в этом случае может быть определено как среднее арифметическое его граничных значений, рассчитываемых по (19) и (21).

По данной методике и разработанному алгоритму в качестве примера выполнены расчеты параметров для асинхронного двигателя типа АО2-41-4 (схема соединения обмотки статора – «звезда»). По номинальным данным:  $U_{sh} = 220$  В;  $I_{sh} = 8,30$  А;  $P_H = 4000$  Вт;  $n_H = 1450$  мин<sup>-1</sup>;  $\cos(\varphi_H) = 0,85$ ; полученным экспериментально данным опыта холостого хода  $U_{s0} = 223$  В;  $I_{s0} = 3,15$  А;  $P_0 = 120$  Вт;  $n_0 = 1500$  мин<sup>-1</sup>) и измеренному сопротивлению статора  $R_{su} = 0,813$  Ом, рассчитаны значения  $R_s, X_{\sigma s}, R_m, X_m, R'_r$  и  $X'_{\sigma r}$  Г-образной схемы замещения асинхронного ЭД (см. рисунок) для угла  $\gamma = 0,688^\circ$ , которые приведены в таблице. В таблице также приведены справочные данные по параметрам ЭД типа АО2-41-4 [6].

Таблица – Параметры схемы замещения двигателя типа АО2-41-4

Параметры ЭД	$R_s$ , Ом	$X_{\sigma s}$ , Ом	$R_m$ , Ом	$X_m$ , Ом	$R'_r$ , Ом	$X'_{\sigma r}$ , Ом
Расчетные	0,988	1,992	3,047	68,662	0,899	3,286
Справочные	1,050	2,076	–	68,799	0,785	2,388
Расхождение, %	-6,3	-4,2	–	-0,2	12,7	27,3

Выводы:

Представленная методика и алгоритм расчета позволяют с различной степенью точности определять параметры схемы замещения трехфазных асинхронных ЭД.

Сравнительный анализ результатов расчетов параметров по предлагаемой методике и соответствующих справочных данных для двигателя АО2-41-4 показал, что расхождение расчетных и справочных данных лежит в пределах 0,20-27,3% (для  $X_m$  и  $X'_{\sigma r}$ , соответственно).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Лысцов, А.Я. Определение параметров асинхронных двигателей с фазным ротором по каталожным данным / А.Я. Лысцов, Г.Я. Лысцова // Известия вузов. -Энергетика. -1977. - №11. -С. 124-128.

2 Туганов, М.С. Определение параметров асинхронных короткозамкнутых двигателей по каталожным данным / М.С. Туганов // Вестник электропромышленности. -1962. -№7. -С. 45-48.

3 Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / -М.: Энергоиздат, 1982. -504 с.

4 Вольдек, А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек. -Л.: Энергия, 1978. -832 с.

5 Копылов, И.П. Электромеханические преобразователи энергии / И.П. Копылов. -М.:

Энергия, 1973. -400 с.

6 Петров, И.И. Специальные режимы работы асинхронного электропривода / И.И. Петров, А.М. Мейстель. -М.: Энергия, 1968. -264 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** судовой электропривод, электродвигатель, схема замещения, параметры  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Бурков Алексей Федорович, канд. техн. наук, проректор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

## **МЕТОДИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РАСЧЕТОВ КОНТАКТОРОВ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ БЕЗДУГОВОЙ КОММУТАЦИИ**

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

**А.Ф. Бурков, Н.Д. Крицкий**

**CALCULATION METHOD OF ELECTROMAGNETIC CONTACTORS WORKING IN SPECIAL CONDITIONS**  
 «Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»  
 A.F. Burkov, N.D. Kricky

This article contains information about the methods of calculation of magnetic systems contractors in their work in special modes.

*Keywords: contactor, switching, electromagnetic calculations, method, theory*

Рассмотрены методы расчета магнитных систем контакторов при их работе в специальных режимах.

При работе контакторов в условиях бездуговой коммутации особое внимание уделяется электромагнитным расчетам, необходимым для корректного выбора контакторов.

Магнитные системы контакторов могут быть описаны на основании уравнений электромагнитного поля или теории цепей.

При расчетах магнитных систем методами теории поля задача сводится к отысканию распределения магнитного потенциала в векторной форме и скалярного электрического потенциала  $\varphi_s$ . Исходной является система уравнений Максвелла для квазистационарного электромагнитного поля [1]:

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \vec{H} = \vec{J}; \\ \operatorname{rot} \vec{E} = -\partial \vec{B} / \partial t; \\ \operatorname{div} \vec{B} = 0; \\ \vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}; \\ \vec{J}_n = \gamma \vec{E}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\vec{H}, \vec{E}$  – векторы напряженности магнитного и электрического полей, соответственно;

$\vec{J}$  – плотность полного тока;

$\vec{B}$  – вектор магнитной индукции;

$\vec{J}_n$  – вектор плотности тока проводимости;

$\gamma$  – удельная электрическая проводимость среды;

$\mu_0$  – магнитная постоянная;

$\mu$  – относительная магнитная проницаемость.

Добавлением к системе уравнений (1) выражения для вектора электрической индукции  $\vec{D}$  формируется теоретическая модель электромагнитного поля [2]

$$\begin{cases} \operatorname{div} \vec{D} = q; \\ \vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $q$  – объемный заряд;

$\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная;

$\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость среды.

Для практических расчетов более удобна преобразованная математическая модель поля.

Введением векторного магнитного потенциала  $\vec{A}$  второе уравнение Максвелла (1) может быть записано следующим образом

$$\text{rot} \left( \vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) = 0. \quad (3)$$

Кроме векторного магнитного потенциала  $\vec{A}$  вводится скалярный электрический потенциал  $\varphi_s$ ,

$$\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = -\text{grad} \varphi_s. \quad (4)$$

При частоте менее 105 Гц поле считается квазистационарным [3]. В этом случае, с учетом  $\vec{D} = f(\vec{E})$  в (2)

$$\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left( -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \text{grad} \varphi_s \right) = 0. \quad (5)$$

Из векторного анализа [4]

$$\text{rot rot } \vec{A} = \text{grad div } \vec{A} - \nabla^2 \vec{A}, \quad (6)$$

где  $\nabla$  – оператор Гамильтона.

Если магнитное поле без истоков, то

$$\text{grad div } \vec{A} = 0. \quad (7)$$

В этом случае

$$\nabla^2 \vec{A} = -\mu_0 \mu \gamma \vec{E}. \quad (8)$$

Зависимость (8) представляет собой уравнение Пуассона для векторного магнитного потенциала  $\vec{A}$ .

Для электрического потенциала  $\varphi_s$  уравнение Пуассона имеет вид [3]:

$$\nabla^2 \varphi_s = -\frac{\rho}{\varepsilon_0 \varepsilon}. \quad (9)$$

Для однородной среды единственными решениями уравнений Пуассона являются выражения;

$$A_k = \frac{\mu}{4\pi} \int_V \frac{J_{nm}}{r_{km}} dV_m; \quad (10)$$

$$\varphi_{эk} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \int_V \frac{q_m}{r_{km}} dV_m. \quad (11)$$

где  $A_k$  – значение магнитного потенциала в точке поля  $k$ ;

$V$  – объем, в котором заключено рассчитываемое поле;

$r_{km}$  – расстояние между точками источника поля  $k$  и точками  $m$  определения величин  $A$  и  $\varphi_s$ ;

$\varphi_{эk}$  – значение электрического потенциала в точке  $k$  поля.

По найденным распределениям значений  $A$  и  $\varphi_s$  определяются необходимые характеристики поля ( $H$ ,  $E$ ,  $B$  и  $D$ ). Основными трудностями при решении данной задачи являются неопределенность распределения  $J_n$  и  $q$  в объеме  $V$  и наличие участков с различными физическими свойствами. При этом необходимо производить интегрирование по объему, в котором заключены неоднородные среды, что связано с громоздкими вычислениями. Эти расчеты, как правило, выполняются с использованием средств вычислительной техники. В этом случае, основными методами при расчете полей являются методы вторичных источников [5], интегрирования по источникам поля [6], конечных элементов [7] и комбинированные методы [8].

При расчетах магнитных систем методами теории поля сложность конфигурации не имеет существенного значения. Точность расчетов при этом обусловлена лишь погрешностями при определении исходных данных и численного метода решения уравнений.

Анализ магнитных систем различных контакторов, позволяет сделать вывод об их сравнительной простоте. В этих случаях представляется целесообразным использование урав-

нений теории цепей. Основной задачей расчета магнитных систем методами теории цепей при определении возможностей работы контакторов в условиях бездуговой коммутации является определение магнитного потока  $\Phi$  в определенной части магнитной системы при заданном значении магнитодвижущей силы  $\theta$ .

Математический аппарат теории цепей основан на аналогии процессов магнитных и электрических цепей. При построении схем замещения магнитных цепей дискретный резистор представляет собой аналог трубки магнитного потока  $\Phi_m$ , в любом  $i$ -м сечении которой, нормальном к ее оси, выполняется условие

$$\Phi_m = \text{Const.} \quad (12)$$

В случае насыщения или намагниченности, когда поверхность участка магнитной системы может быть не эквипотенциальной, вводятся расчетные трубки потока конечного сечения, приведенные к некоторой усредненной разности потенциалов между двумя ограниченными участками магнитной системы. Если геометрическая форма трубок потока не совпадает со сравнительно простыми геометрическими телами, то магнитные сопротивления  $R_\mu$  или магнитные проводимости  $G_\mu$  (величины, обратные  $R_\mu$ ) рассчитываются по приближенным формулам, выведенным аналитически и полученным на основании математической обработки экспериментальных данных [9, 10].

Расчет магнитных систем по теории цепей осуществляется в основном по методу участков или по уравнениям, описывающим распределение потока и разности магнитных потенциалов по длине магнитной системы [11].

Применительно к цепям, работающим на переменном токе, магнитное сопротивление  $Z_\mu$  из закона Ома для магнитной цепи определяется как

$$Z_\mu = \frac{i_k w}{\dot{\Phi}} = \frac{\dot{H}l}{\dot{B}S}, \quad (13)$$

где  $i_k$  – ток катушки контактора;

$w$  – число витков катушки;

$l, S$  – длина и поперечное сечение участка магнитной цепи.

Наличие короткозамкнутых витков (экранов) на определенных участках большинства магнитопроводов контакторов, предназначенных для уменьшения вибраций якорей, существенно изменяет распределение потоков в районе экранируемых частей. Анализ характеристик экранированных участков производится при следующих основных допущениях:

– величина потока  $\Phi$ , проходящего через воздушные зазоры, не зависит от параметров экрана [10];

– магнитный поток  $\Phi_n$ , проходящий через пазы экранов, ничтожно мал по сравнению с потоком, проходящим через рабочие поверхности, то есть

$$\Phi_n = 0; \quad (14)$$

– отсутствует влияние вихревых токов магнитопровода;

– магнитное поле в рабочих зазорах равномерно.

Вследствие насыщения стали, магнитный поток  $\Phi_n$  в неэкранированной части несинусоидален. Так как общий поток

$$\dot{\Phi} = \dot{\Phi}_n + \dot{\Phi}_s, \quad (15)$$

практически синусоидален, то и магнитный поток в экранированной части  $\Phi_s$  также становится несинусоидальным. Разложением потока  $\Phi$  в тригонометрический ряд получается выражение для амплитудного значения потока  $\Phi_m$  [10]

$$\Phi_m = \Phi_{m1} \left[ \sin(\omega t + \varphi_1) + \frac{k_3}{3} \sin(3\omega t + \varphi_3) + \dots + \frac{k_i}{i} \sin(i\omega t + \varphi_i) \right], \quad (16)$$

где  $\Phi_{m1}$  – амплитуда первой гармоники магнитного потока;

$\varphi_i$  – фазовый угол соответствующей  $i$ -й гармоники по отношению к синусоиде потока  $\Phi$ ;

$k_i$  – относительная величина амплитуды соответствующей гармоники.

На основании опытных данных [12] расчеты  $\Phi_m$  по (16) ведутся, как правило, по первой и третьей гармоникам.

Таким образом, при электромагнитных расчетах контакторов, для расчета магнитных

систем необходимым и достаточным является использование методов теории цепей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Нейман, Л.Р. Теоретические основы электротехники: в 2 т. / Л.Р. Нейман, К.С. Демирчян; Т.1. -Л.: Энергоиздат, 1981. -536 с.
- 2 Тозони, О.В. Автоматизация электромагнитных расчетов / О.В. Тозони // Известия вузов. Электромеханика. -1972. -№12. -С. 1242-1251.
- 3 Никитенко, А.Г. Автоматизированное проектирование электрических аппаратов / А.Г. Никитенко. -М.: Высшая школа, 1983. -192 с.
- 4 Маделунг, Э. Математический аппарат физики: справочное руководство / Э. Маделунг; пер. с нем.; под ред. В.И. Левина. -М.: Наука, 1968. -620 с.
- 5 Тозони, О.В. Метод вторичных источников в электротехнике / О.В. Тозони. -М.: Энергия, 1975. -296 с.
- 6 Пеккер, И.И. Расчет магнитных систем методом интегрирования по источникам поля / И.И. Пеккер // Известия вузов. Электромеханика. -1964. -№10. -С. 1047-1051.
- 7 Сегерлинд, Л.Д. Применение метода конечных элементов / Л.Д. Сегерлинд; пер. с англ.; под ред. Б.Е. Победри. -М.: Мир, 1979. -392 с.
- 8 Бахвалов, Л.А. Расчет на ЭВМ магнитных систем / Л.А. Бахвалов [и др.] // Тр. Ивановского энергет. ин-та. Теория и расчеты электрических машин и аппаратов. -1978. -№5. -С. 12-16.
- 9 Гордон, А.В. Электромагниты постоянного тока / А.В. Гордон, А.Г. Сливинская. -М.: Госэнергоиздат, 1960. -447 с.
- 10 Гордон, А.В. Электромагниты переменного тока / А.В. Гордон, А.Г. Сливинская. -М.: Энергия, 1968. -200 с.
- 11 Сахаров, П.В. Проектирование электрических аппаратов / П.В. Сахаров. -М.: Энергия, 1971. -560 с.
- 12 Колоянчева, Р.С. Определение магнитных потоков в электромагнитах с короткозамкнутым витком / Р.С. Колоянчева // Известия вузов. Электромеханика. -1963. -№7. -С. 1016-1019.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *контактор, коммутация, электромагнитные расчеты, метод, теория*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Бурков Алексей Федорович, канд. техн. наук, проректор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*  
*Крицкий Николай Дмитриевич, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

## АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СУДОВ

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет  
им. адм. Г.И. Невельского»  
ФГОУ ВПО «Государственная морская академия  
им. адм. С.О. Макарова»

**А.Ф. Бурков, С.Е. Кузнецов**

**ANALYSIS OF ELECTRIFICATION OF SHIPS**  
«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»  
«Maritime state academy named adm. S.O. Makarov»  
A.F. Burkov, K.S. Kuznetsov

This article contains basic indicators for the electrification of ships; proposed rate, which excludes some errors

*Keywords: electrification of ships, ship power station, coefficient, indicator, power*

Рассмотрены основные показатели, характеризующие электрификацию судов; предложен показатель, исключаящий некоторые погрешности.

Развитие судостроения, ремонта и модернизации эксплуатируемых судов сопровождаются изменением их электрификации. Электрификацию судов принято оценивать коэффи-

циентами (степенями) электровооруженности (электрификации)  $\gamma$  и  $\gamma_1$ .

Коэффициент  $\gamma$  характеризуется отношением суммарной установленной активной мощности  $P_{\Sigma СЭС}$  общесудовых генераторов судовой электрической станции (СЭС) [1] к водоизмещению  $D$  судна [2]

$$\gamma = \frac{P_{\Sigma СЭС}}{D}, \text{ кВт/т,}$$

где  $P_{\Sigma СЭС}$  – установленная активная мощность общесудовых генераторов СЭС, кВт;

$D$  – водоизмещение судна, т.

Диапазон изменения коэффициента (степени) электровооруженности (электрификации), по данным, приведенным в [2], составляет 0,020-0,350 кВт/т. Более низкие значения  $\gamma$  относятся к крупнотоннажным судам без грузовых лебедок и кранов, а более высокие – к пассажирским и рыбопромысловым судам, ледоколам и рефрижераторам.

По сведениям, приведенным в [3], степень электрификации  $\gamma$ :

- для наливных судов составляет.....0,035-0,045 кВт/т;
- для сухогрузных судов .....0,100-0,130 кВт/т;
- для пассажирских судов.....0,140-0,150 кВт/т;
- для судов технического флота .....0,300-0,800 кВт/т.

Выполненный в [2] анализ данных Центрального научно-исследовательского института судовой электротехники и технологии (ЦНИИСЭТ) позволил профессору П.Л. Сиверсу сделать вывод о росте коэффициента  $\gamma$  судов, в частности лесовозов и танкеров, во временном диапазоне от начала электрификации судов до конца 1960-х гг.

Коэффициент  $\gamma$  не является достаточно объективным при оценке электровооруженности (электрификации) судов, так как при опережающем увеличении водоизмещений  $D$  судов увеличения мощностей судовых генераторов  $P_{\Sigma СЭС}$ , он уменьшается.

Более убедительным является коэффициент электрификации  $\gamma_1$ , определяемый по формуле [1]

$$\gamma_1 = \frac{P_{\Sigma СЭС}}{D - M_r}, \text{ кВт/т,}$$

где  $M_r$  – чистая грузоподъемность судна, т.

С целью дополнения и корректировки данных в таблице приведены данные обработанного статистического материала источника [5] по основным сериям судов России, построенных с начала 1960-х гг. до середины 1990-х гг. По этим данным  $\gamma_1$  составляет:

- для судов для перевозки генеральных грузов .....0,120-0,282 кВт/т;
- для контейнерных судов .....0,072-0,199 кВт/т;
- для судов с горизонтальным и горизонтально-вертикальным способом грузовых операций (ролкеров).....0,139-0,442 кВт/т;
- для ледокольно-транспортных судов.....0,112-0,236 кВт/т;
- для рефрижераторных судов .....0,135-0,459 кВт/т;
- для судов перевозки массовых грузов.....0,114-0,392 кВт/т;
- для наливных транспортных судов .....0,047-0,655 кВт/т.

Основным недостатком коэффициента  $\gamma_1$  является следующее. К исходным данным при расчете мощности СЭС относится установленная мощность СЭО, режимы работы судна и т.д. Так как расчет и выбор числа и мощности генераторов СЭС на стадии проектирования или модернизации судов различного назначения представляет достаточно сложный процесс, то при этом вводятся определенные допущения. В связи с этим, мощность генераторов СЭС, а, следовательно, и коэффициенты  $\gamma$  и  $\gamma_1$  рассчитываются с погрешностями, величины которых зависит от корректности и количества вводимых допущений.

В этом случае, для оценки степени электрификации судов представляется целесообразным введение показателя (коэффициента)  $\beta$ , исключающего погрешность результатов расчетов мощности СЭС [4]

$$\gamma_1 = \frac{P_{\Sigma СЭО}}{D - M_r}, \text{ кВт/т,}$$

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

где  $P_{\Sigma СЭО}$  – суммарная установленная активная мощность СЭО, кВт.

В таблице представлены результаты расчетов коэффициентов  $\beta$  серий судов России постройки начала 1960-х гг. – середины 1990-х гг. коэффициент  $\beta$  составляет:

- для судов для перевозки генеральных грузов .....0,183-0,745 кВт/т;
- для контейнерных судов .....0,211-0,665 кВт/т;
- для судов с горизонтальным и горизонтально-вертикальным способом грузовых операций (ролкеров).....0,624-0,782 кВт/т;
- для ледокольно-транспортных судов.....0,793-0,868 кВт/т;
- для рефрижераторных судов .....0,793-0,801 кВт/т;
- для судов перевозки массовых грузов .....0,248-0,842 кВт/т;
- для наливных транспортных судов .....0,222-0,870 кВт/т.

Выводы.

1 Анализ полученных результатов показывает, что развитие электрификации рассматриваемых серий судов характеризуется изменением коэффициентов (степеней) электровооруженности  $\gamma$  и  $\gamma_1$ .

Общих тенденций и закономерностей изменений коэффициентов  $\gamma$  и  $\gamma_1$  и вводимого коэффициента (показателя)  $\beta$  в функции времени постройки серий судов обнаружить не удалось.

Таблица – Характеристика электрификации морских транспортных судов России

Название судна	Год и страна постройки головного судна	Водоизмещение $D$ , т	Грузоподъемность чистая $M_r$ , т	Установленная мощность, кВт		Коэффициент электровооруженности, кВт/т	
				$P_{\Sigma СЭС}$	$P_{\Sigma СЭО}$	$\gamma_1$	$\beta$
1	2	3	4	5	6	7	8
Морские сухогрузные транспортные суда							
Суда для перевозки генеральных грузов							
т/х «Уссури») т/х «Эльва»	1960 ВНР	2100	1167	100×1 77×1 86×1	–	0,282	–
т/х «Выборг»	1963-66 ГДР	17900	10490	264×3 192×1	1782	0,133	0,240
т/х «Повенец»	1963-67 ГДР	6681	3892	250×3	1162	0,269	0,417
т/х «Дубровник»	1967-69 СФРЮ	20680	11717	360×3	2800	0,120	0,312
т/х «Новгород»	1967-70 Финляндия	19058	10950	400×3	1482	0,148	0,183
т/х «Пятидесятилетие комсомола»	1968-75 СССР	11830	7480	300×2 200×1	2800	0,184	0,644
т/х «Пионер»	1968-72 ГДР	7220	4087	192×3	1200	0,184	0,383
т/х «Варнемюнде»	1972-76 ГДР	18560	10136	400×4	4900	0,190	0,582
т/х «Ленинская гвардия»	1972-76 ПНР	11690	6280	400×3	4030	0,222	0,745
т/х «Росток»	1973-75 ГДР	9124	4911	400×2 300×1	1866	0,261	0,443
т/х «Юный партизан»	1974-77 СРР	3947	1898	160×3	–	0,234	–
т/х «Виталий Дьяконов»	1983-88 СССР	6480	2930	200×3	–	0,169	–
Контейнерные суда							
т/х «Иван Котляревский»	1968-71 СФРЮ	24285	11020	400×2 160×1	2800	0,072	0,211
т/х «Александр Фадеев»	1973-75 СССР	11640	5624	400×3	4000	0,199	0,665

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Продолжением таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Контейнерные суда</b>							
т/х «Капитан Баканов»	1974-75 ПНР	19726	8440	504×3	4606	0,134	0,408
т/х «Художник Сарьян»	1975-79 ГДР	22740	10520	400×4	5100	0,131	0,417
т/х «Капитан Сахаров»	1979-81 СССР	10020	4410	320×3	2750	0,171	0,490
<b>Суда с горизонтальным и горизонтально-вертикальным способом грузовых операций (ролкеры)</b>							
т/х «Иван Скуридин»	1975-78 СССР	10620	3935	400×3	–	0,180	–
т/х «Шестидесятилетие СССР»	1982-86 СССР	12070	3420	400×3	–	0,139	–
т/х «Астрахань»	1983-90 ГДР	26770	15987	530×4	–	0,197	–
(т/х «Композитор Мусоргский»)	1985 ГДР	5850	1146	400×2 640×2	–	0,442	–
<b>Ледокольно-транспортные суда</b>							
дэ/х «Амгуема»	1962-69 СССР	14165	6995	200×4	6225	0,112	0,868
т/х «Норильск»	1982-84 Финляндия	23716	10145	800×4	–	0,236	–
т/х «Анатолий Колесниченко»	1985-87 Финляндия	25458	9895	800×4	–	0,206	–
<b>Рефрижераторные суда</b>							
т/х «Александра Коллонтай»	1970-73 ПНР	8419	2900	320×4	4375	0,232	0,793
т/х «Валерия Барсова»	1986 СФРЮ	2226	–	100×3	–	0,135	–
т/х «Посъет»	1988-90 Греция	7187	2825	500×4	–	0,459	–
<b>Суда для перевозки массовых грузов</b>							
<b>Лесовозы</b>							
т/х «Волголес»	1960-61 ПНР	9530	5166	250×2 100×1	1430	0,137	0,328
т/х «Беломорсклес»	1962-68 ПНР	9530	5460	250×2 100×1	2524	0,147	0,620
т/х «Малоярославец»	1963-65 СССР	5660	3274	100×3	1708	0,126	0,716
т/х «Сибирьлес»	1964-67 СССР	6370	3360	200×2 100×1	2200	0,166	0,731
т/х «Крымск»	1967-70 СРР	6370	3440	200×2 100×1	1610	0,171	0,549
т/х «Мирный»	1967-71 Финляндия	5690	3050	160×2 90×1	1300	0,155	0,492
т/х «Спартак»	1968-69 ВНР	2800	1494	132×2 88×1	1100	0,270	0,842
т/х «Советский воин»	1968-71 СССР	3780	2130	100×3	535	0,182	0,324
т/х «Петрозаводск»	1968-72 СССР	9830	5310	300×2 100×1	1121	0,155	0,248
т/х «Балхаш»	1969-71 СССР	2418	1250	160×2	901	0,274	0,771
<b>Лесовозы-пакетовозы</b>							
т/х «Николай Новиков»	1973 ПНР	19275	11500	510×3	4056	0,197	0,522
т/х «Игорь Грабарь»	1973-74 Финляндия	6952	3300	200×3	2100	0,164	0,575
т/х «Пионер Москвы»	1973-80 СССР	10720	5300	320×3	3600	0,177	0,664

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Продолжением таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Лесовозы-пакетовозы</b>							
т/х «Влас Ничков»	1974-77 ПНР	19730	11500	510×3	4606	0,186	0,560
т/х «Механик Ярцев»	1990-92 Австрия	4205	2060	280×2 280×1	–	0,392	–
<b>Навалочники</b>							
т/х «Советский художник»	1976-78 НРБ	31949	22003	500×3	3550	0,151	0,357
т/х «Дмитрий Донской»	1977-81 ГДР	27340	18738	400×4	2562	0,186	0,298
(т/х «Фастов») т/х «Генерал Блажевич»	1979-80 ГДР	11410	6980	440×3	–	0,298	–
т/х «Михаил Стрекаловский»	1981-82 ГДР	27340	18105	400×4	2562	0,173	0,277
т/х «Художник Моор»	1983-86 НРБ	31860	22000	500×3	–	0,152	–
(т/х «Кооперация») т/х «Харитон Греку»	1989 СССР	66000	49380	400×3 700×1	–	0,114	–
<b>Морские наливные транспортные суда</b>							
<b>Нефтеналивные суда</b>							
т/х «Инженер А. Пустошкин»	1957-68 СССР	6520	4420	100×4	1219 (=)	0,190	0,580
т/х «Баскунчак»	1964-70 СССР	2920	1540	100×3	1200	0,217	0,870
(т/х «Дмитрий Жлоба»)	1970 СФРЮ	29940	19600	400×2 400×1	2300	0,116	0,222
пт/х «Крым»	1974-80 СССР	182000	143250	400×1 1250×2	–	0,075	–
т/х «Самотлор»	1975-78 Финляндия	24570	15180	500×3	4856	0,160	0,517
т/х «Григорий Нестеренко»	1986-89 СССР	35970	24240	500×3 600×1	–	0,179	–
т/х «Илья Эренбург»	1987-89 СФРЮ	21950	14800	640×2 1700×2	–	0,655	–
т/х «Партизанск»	1988-90 Финляндия	4855	2350	252×2 400×1	–	0,361	–
<b>Нефтерудонавалочники</b>							
т/х «Маршал Буденный»	1975-77 ПНР	127207	96563	800×2 760×1	–	0,077	–
т/х «Борис Бутома»	1977-82 СССР	132640	102167	500×3 800×1	–	0,075	–
т/х «Маршал Гречко»	1978-79 ПНР	140248	97480	504×4	–	0,047	–

Примечание: Источниками статистического материала, на основании которого строилась таблица, являются судовая документация и каталог [5].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Системы электроэнергетические судовые. Термины и определения: ГОСТ 22652-77. - М.: Изд-во стандартов, 1977. -4 с.
- 2 Сиверс, П.Л. Судовые электроприводы / П.Л. Сиверс. -Изд. 2-е. -М.: Транспорт, 1975. - 456 с.
- 3 Судовые электроприводы. В 2 т. Т.1: справочник / А.П. Богословский [и др.]; под ред. И.Р. Фрейдзона. -Л.: Судостроение, 1983. -351 с.
- 4 Барановский, Ю.Г. Морские сухогрузные транспортные суда: каталог / Ю.Г. Барановский, Н.П. Мясникова, Г.С. Лобанова. -Л.: Транспорт, 1985. -624 с.

5 Бурков, А.Ф. Электрификация судов и ее основные характеристики / А.Ф. Бурков // Транспортное дело России. -М., 2005. -С. 108-109.

6 Афанасьев, Е.П. Морские транспортные суда России: каталог / Е.П. Афанасьев, Г.С. Лобанова, Г.В. Владимиров. -СПб.: ЦНИИМФ, 1995. -745 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электрификация судов, судовая электрическая станция, коэффициент, показатель, мощность

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Бурков Алексей Федорович, канд. техн. наук, проректор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
Кузнецов Сергей Емельянович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГА им. адм. С.О. Макарова»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

190000, г. Санкт-Петербург, ул. Косая линия, 15, ФГОУ ВПО «МГА им. адм. С.О. Макарова»

## **ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВИЗОРОВ**

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**В.З. Манусов, Ю.М. Денчик, Ю.М. Демидас, Д.С. Кудряшов**

**DIAGNOSTICS OF THE ELECTRIC EQUIPMENT OF SUBSTATIONS WITH HELP TEPLOVISER'S**

«Novosibirsk state technical university»

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.Z. Manusov, Ju.M. Denchik, Yu.M. Demidas, D.S. Kudryashov

Experience of diagnostic inspection an electric equipment with the help IR-imager is generalized. The method of definition of defects on the basis indistinct relations between symptoms and real causes of a failure is considered

*Keywords: infrared imager, defects, thermogram, power transformers*

Обобщён опыт диагностического обследования электрооборудования с помощью тепловизора. Рассмотрен метод определения дефектов на основе нечётких отношений между симптомами и реальными причинами отказа.

Диагностика электрооборудования представляет собой активно развивающееся научное направление, требующее создания новых и совершенствования имеющихся методов диагностики оборудования. Новые возможности открылись перед диагностикой после появления микропроцессорной техники, применение которой позволяет создавать автоматизированные системы диагностики сложных технологических процессов на электростанциях.

В настоящее время актуальность контроля оборудования по его текущему состоянию не вызывает сомнений. Это особенно важно в энергетике, где по различным оценкам свыше 50% основного силового оборудования выработало свой ресурс. Электрохозяйство промышленного предприятия насчитывает сотни, тысячи и даже десятки тысяч силовых трансформаторов. Именно поэтому, безотказной и эффективной работе этого оборудования уделяется такое большое внимание [1-3].

На Российском рынке, чуть более 2-х лет назад, появились тепловизионные системы серии ТН-7102, NEC (Япония), которые имеют существенные преимущества перед тепловизорами серии РМ695. Масса тепловизора значительно меньше, корпус тепловизора серии ТН-7102 выполнен в соответствии со стандартом IP-54 (пылевлагозащищён), защита от удара составляет 30g, от вибрации – 3g.

Апробация этой модели тепловизора, проведённая на подстанциях, показала следующие результаты (рисунки 1-3) [1-7]:

На этом ИК-изображении (рисунок 2б) показано «горячее» соединение проводов (измеренная с использованием телескопического объектива температура соединения составляла 225°С) на воздушной линии (ВЛ) 110 кВ. При помощи тепловизора удалось своевременно зафиксировать наличие дефекта.

Выделение избыточного тепла (рисунок 2б) свидетельствует о внутреннем дефекте.

Видно избыточное выделение тепла в верхней части трансформатора (рисунок 3б), что

свидетельствует о перегреве верхней части магнитопровода.

Понятие нечёткого отношения наряду с понятием самого нечёткого множества относятся к фундаментальным основам всей теории нечётких множеств. На основе нечётких отношений определяется целый ряд дополнительных понятий, используемых для построения нечётких моделей сложных систем. Нечёткое отношение обобщает понятие обычного отношения и часто заменяется терминами нечёткие связь, ассоциация, взаимосвязь или соотношение.

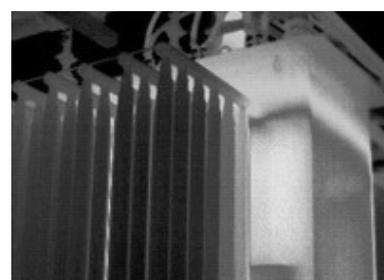
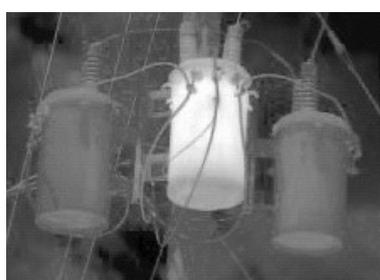
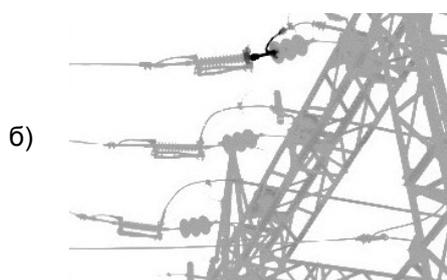
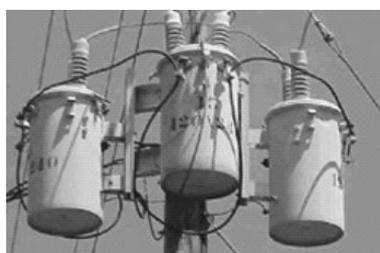


Рисунок 1 – Соединение проводов на ОРУ 110 кВ (а), термограмма (б)

Рисунок 2 – Трансформаторы (столбовые) однофазные 6000/380 В (а), термограмма (б)

Рисунок 3 – Силовой трансформатор типа ТДН-16000/110 (а), термограмма (б)

Содержательно нечёткое отношение определяется как любое нечёткое подмножество упорядоченных кортежей, построенных из элементов тех или иных базисных множеств, в качестве которых в данном случае используются универсумы. При этом под кортежем, так же как и в случае обычных множеств, понимается произвольный набор или список упорядоченных элементов.

В общем случае нечётким отношением заданным на множествах (универсумах)  $X_1, X_2, \dots, X_k$  называется некоторое фиксированное нечёткое подмножество декартова произведения этих универсумов. Другими словами, если обозначить произвольное нечёткое отношение через  $Q$ , то по определению

$$Q = \{ \langle x_1, x_2, \dots, x_k \rangle, \mu_Q(\langle x_1, x_2, \dots, x_k \rangle) \}, \quad (1)$$

где  $\mu_Q(\langle x_1, x_2, \dots, x_k \rangle)$  – функция принадлежности данного нечёткого отношения, которая определяется как отображение  $\mu_Q : X_1 \times X_2 \times \dots \times X_k \rightarrow [0, 1]$ ;

$\langle x_1, x_2, \dots, x_k \rangle$  – кортеж из  $k$  элементов, каждый из которых выбирается из своего универсума,

$$x_1 \in X_1; x_2 \in X_2, \dots, x_k \in X_k.$$

Рассмотрим диагностику силовых трансформаторов с принудительным охлаждением, основанную на теории нисходящего нечёткого вывода. Пусть при этом полное пространство предпосылок  $X$  состоит из  $m$  факторов, а пространство заключений  $Y$  – из  $n$  симптомов.

Возьмём упрощённую модель диагностики трансформатора:

- $x_1$  – появление внутреннего дефекта и низкий уровень масла;
- $x_2$  – низкий уровень масла;
- $x_3$  – неисправен насос;
- $x_4$  – образование короткозамкнутых контуров, вихревые токи;
- $x_5$  – высшие гармонические составляющие токов и напряжений в сети;
- $x_6$  – частичные разряды;
- $y_1$  – выделение избыточного тепла;
- $y_2$  – холодные охлаждающие рёбра;

- $y_3$  – холодный радиатор;
- $y_4$  – местный перегрев бака;
- $y_5$  – нагрев корпуса;
- $y_6$  – повреждение высоковольтных вводов.

Между  $x_i$  и  $y_j$  существуют нечёткие причинные отношения

$$r_{ij} = x_i \rightarrow y_j,$$

которые можно представить в виде некоторой матрицы  $R$  с элементами  $r_{ij} \in [0,1]$ . Конкретные входы (предпосылки) и выходы (заключения) можно рассматривать как нечеткие множества  $Z$  и  $D$  на пространствах  $X$  и  $Y$ . Отношения этих множеств можно обозначить как

$$D = Z \circ R, \quad (2)$$

где  $\circ$  – знак правила композиции нечётких выводов.

В данном случае направление выводов является обратным к направлению выводов правил, то есть в случае диагностики имеется (задана) матрица  $R$  (знания экспертов) и определяются входы  $Z$  (или факторы).

Предположим, что знания эксперта по диагностике силовых трансформаторов имеют вид

$$R = \begin{pmatrix} 0,9 & 0,8 & 0,9 & 0,6 & 0,5 & 0,6 \\ 0,8 & 0,7 & 1 & 0,2 & 0,5 & 0,3 \\ 0,8 & 0,9 & 0,8 & 0,1 & 0,6 & 0,1 \\ 0,6 & 0,5 & 0,6 & 1 & 0,9 & 0,4 \\ 0,5 & 0,4 & 0,5 & 0,9 & 1 & 0,2 \\ 0,5 & 0,3 & 0,3 & 0,8 & 0,8 & 0,9 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Допустим в результате осмотра трансформатора его состояние можно оценить как

$$D = \frac{0,8}{y_1} + \frac{0,5}{y_2} + \frac{0,6}{y_3} + \frac{0,7}{y_4} + \frac{0,8}{y_5} + \frac{0,9}{y_6}. \quad (4)$$

Требуется определить причину такого состояния

$$Z = \frac{z_1}{x_1} + \frac{z_2}{x_2} + \frac{z_3}{x_3} + \frac{z_4}{x_4} + \frac{z_5}{x_5} + \frac{z_6}{x_6}. \quad (5)$$

При использовании max-min- композиции последнее соотношение преобразуется к виду

$$\begin{cases} 0,8 = (z_1 \wedge 0,9) \vee (z_2 \wedge 0,8) \vee (z_3 \wedge 0,8) \vee (z_4 \wedge 0,6) \vee (z_5 \wedge 0,5) \vee (z_6 \wedge 0,5); \\ 0,5 = (z_1 \wedge 0,8) \vee (z_2 \wedge 0,7) \vee (z_3 \wedge 0,9) \vee (z_4 \wedge 0,5) \vee (z_5 \wedge 0,4) \vee (z_6 \wedge 0,3); \\ 0,6 = (z_1 \wedge 0,9) \vee (z_2 \wedge 1,0) \vee (z_3 \wedge 0,9) \vee (z_4 \wedge 0,6) \vee (z_5 \wedge 0,5) \vee (z_6 \wedge 0,3); \\ 0,7 = (z_1 \wedge 0,6) \vee (z_2 \wedge 0,2) \vee (z_3 \wedge 0,1) \vee (z_4 \wedge 1,0) \vee (z_5 \wedge 0,9) \vee (z_6 \wedge 0,8); \\ 0,8 = (z_1 \wedge 0,5) \vee (z_2 \wedge 0,5) \vee (z_3 \wedge 0,6) \vee (z_4 \wedge 0,9) \vee (z_5 \wedge 1,0) \vee (z_6 \wedge 0,8); \\ 0,9 = (z_1 \wedge 0,6) \vee (z_2 \wedge 0,3) \vee (z_3 \wedge 0,1) \vee (z_4 \wedge 0,4) \vee (z_5 \wedge 0,2) \vee (z_6 \wedge 0,9). \end{cases} \quad (6)$$

где  $\wedge$  – операция логического минимума;

$\vee$  – логического максимума.

При решении данной системы уравнений заметим, прежде всего, что в шестом уравнении первые пять членов правой части не влияют на последнюю часть, поэтому

$$0,9 = (z_6 \wedge 0,9), z_6 = 0,9. \quad (7)$$

Из первого уравнения получим

$$0,8 \geq (z_1 \wedge 0,9), z_1 = 0,8. \quad (8)$$

Из второго уравнения получим (с учётом уже найденных значений)

$$0,5 \geq (z_3 \wedge 0,9), z_3 = 0,5. \quad (9)$$

Из третьего уравнения получим (с учётом уже найденных значений)

$$0,6 \geq (z_3 \wedge 0,9), z_3 = 0,5. \quad (10)$$

Из четвертого уравнения получим (с учётом уже найденных значений)

$$0,7 \geq (z_4 \wedge 1), z_4 = 0,7. \quad (11)$$

Из пятого уравнения получим (с учётом уже найденных значений)

$$0,8 \geq (z_5 \wedge 0,1), z_5 = 0,8. \quad (12)$$

Таким образом, решение данной системы уравнений показывает, что при заданных априори экспертных оценок, матрицы нечётких отношений, можно утверждать, что наиболее вероятной причиной нарушение режима работы являются:

- частичные разряды  $z_6 = 0,9$ ;
- высшие гармонические составляющие токов и напряжений в сети  $z_5 = 0,8$ ;
- появление внутреннего дефекта и низкий уровень масла  $z_1 = 0,8$ , далее следуют  $z_2 = 0,6$ ;  $z_3 = 0,5$ ;  $z_4 = 0,7$ .

В заключение отметим, что этот метод диагностики позволяет выявлять дефекты на ранней стадии развития, предупреждая тем самым аварийные ситуации и связанные с этим нарушения электроснабжения потребителей. Целесообразно его применять при комплексном обследовании силовых трансформаторов в сочетании с другими методами контроля (хроматографический анализ масла, контроль частичных разрядов и др.) [1-3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Леоненков, А.В. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. -СПб.: БХВ-Петербург, 2003. -736 с.: ил.
- 2 Бажанов, С.А. Тепловизионный контроль электрооборудования в эксплуатации. Ч.2 / С.А. Бажанов. -М.: НТФ «Энергопрогресс», 2005. -64 с.: ил.
- 3 Штовба, С.Д. Введение в теорию нечётких множеств и нечёткую логику / С.Д. Штовба. -М.: Горячая Линия-Телеком, 2002. -288 с.
- 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.
- 5 Инструкция №37 по охране труда при тепловизионном обследовании электрооборудования, при вибродиагностике электродвигателей и полностью агрегатов ООО «Ноябрьскэнерго-нефть».
- 6 Режим доступа: [http://www.sebaspectrum.ru/about\\_company/deyatelnost\\_predpriyatiya/diagnostika](http://www.sebaspectrum.ru/about_company/deyatelnost_predpriyatiya/diagnostika).
- 7 Режим: доступа: <http://eng.avek.ru/>.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *тепловизор, дефекты, термограмма, силовые трансформаторы*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «НГТУ»  
Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Демидас Юрий Михайлович, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Кудряшов Дмитрий Семенович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»  
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

## **АНАЛИЗ СТРУКТУР ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССАХ**

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

**Сибирский научно-исследовательский институт энергетики, филиал  
ОАО «Научно-технического центра электроэнергетики»**

**Н.Н. Лизалек, А.Н. Ладнова, В.Ф. Тонышев,  
К.С. Мочалин, А.К. Жунусов**

**THE STRUCTURE OF ELECTROMECHANICAL OSCILLATIONS AND POWER SYSTEM STABILITY**  
**«Novosibirsk state academy of water transport»**  
**Siberian research institute of energy, branch «Scientific-technical center electricity»**  
N.N. Lizalek, A.N. Ladnova, V.F. Tonishev, K.S. Mochalin, A.K. Zhunusov

Preconditions of the structural analysis of power systems instability are considered.

Keywords: *spatial oscillators, the vibrational structure, limiting disturbance, instability of the chart*

Рассмотрены предпосылки структурного анализа неустойчивости энергосистем.

Построение систем противоаварийного управления требует проведения многочисленных расчетов устойчивости энергосистемы в различных режимах ее работы. Главная цель таких исследований – прогнозирование путей развития аварий, связанных с нарушениями устойчивости, с последующим выбором противоаварийных мероприятий, обеспечивающих как можно более раннее их прерывание. Прогноз пути развития аварии при нарушении устойчивости невозможен без выявления сечения первоначально возникающего асинхронного хода, выступающего первым шагом на этом пути. В настоящее время отсутствуют методические разработки, направленные на общую эскизную прорисовку возможных сечений асинхронного хода при нарушениях устойчивости в сложной энергосистеме, а, следовательно, и обзора задач управления, обеспечивающего прерывание аварий. Между тем, такая методика могла бы оказаться весьма полезной для анализа изменения ситуации в противоаварийном управлении системой при ее развитии или существенном изменении режима работы. Развиваемый в настоящей работе структурный анализ неустойчивости использует, применительно к исследованию динамической устойчивости энергосистем, расширенную формулировку задачи качественного анализа устойчивости.

Опасность того или иного возмущения с позиций устойчивости параллельной работы синхронных машин энергосистемы существенным образом связана с его местоположением, глубиной и длительностью. Изменение параметров системы или возмущения приводит к изменению характера развивающейся неустойчивости – положения сечения асинхронного хода, скорости процесса и т.п., то есть, в целом, к изменению пути развития аварии, сопровождающей нарушение устойчивости. Полный анализ устойчивости требует ответа не только на вопрос – «Произойдет ли нарушение устойчивости при том или ином возмущении (конечном или «бесконечно малом»)??», но и на вопрос: «По какому сечению произойдет нарушение устойчивости и как его пространственное положение зависит от свойств системы и возмущения?» Особо актуальным выявление пространственной структуры неустойчивости становится в задачах устойчивости сложных энергосистем при авариях, удаленных от генерирующих источников.

Электромеханические переходные процессы в больших электроэнергетических системах при внешнем наблюдении образуют сложную картину. Однако анализ движения системы при различных возмущениях позволяет выявить его некоторое общее свойство. Оно формулируется на основе наблюдения (на этапах свободного движения) за перемещениями векторов напряжения в различных узлах системы в случае, когда их фазы измеряются относительно общей оси отсчета углов, вращающейся со скоростью центра инерции системы. Выделенные таким образом колебания в системе около ее центра инерции происходят в форме движений областей (подсистем), любые смежные из которых движутся, на некотором интервале времени, в противоположных направлениях, то есть колебательное движение волнообразно распределено по системе. По мере развития переходного процесса количество и состав подсистем, а также способ их объединения межсистемными связями в наблюдаемую колебательную структуру, в общем случае, изменяются.

Исходя из принципа формирования колебательных структур ясно, что они могут иметь цепочечный или разветвленный цепочечный характер. Разновидностями разветвленной цепочечной структуры являются кольцевые структуры с четным числом подсистем в кольцах. Особенностью не кольцевых колебательных структур является то, что разрыв связей между любыми смежными подсистемами делит систему на две отдельные части. Эта топологическая особенность таких структур означает, что совокупность линий электропередач, связывающих любые смежные подсистемы, может выступать сечением развивающегося асинхронного хода в системе (сечением возможной структуры неустойчивости). В рамках кольцевых образований сечением возможной структуры неустойчивости может выступать любая пара межсистемных связей. Возможные структуры неустойчивости можно отнести к колебательным структурам высшего иерархического уровня. Они образованы двумя подсистемами, внутри каждой из которых может содержаться одна или несколько подсистем колебательной структуры переходного процесса системы. При развитии колебательной структуры в переходном процессе возможные структуры неустойчивости изменяются вместе с ней.

Сделаем предположение, что нарушение устойчивости происходит по одному из сечений возможных структур неустойчивости. И, далее: нарушение устойчивости происходит тогда, когда, при достаточной величине возмущения, сечение одной из возможных структур неустойчивости совпадет с одним из «слабых» сечений системы. Это предположение позволяет предложить подход к выявлению структуры неустойчивости системы при конкретных

возмущениях. Он состоит в том, что колебательная структура движения при рассматриваемом возмущении сразу строится с учетом совокупности «слабых» сечений системы, выявленных заранее тем или иным способом. Тогда возможные структуры неустойчивости, построенные на таких, модельных, колебательных структурах, будут содержать эти «слабые» сечения и отбор среди них реализующейся структуры неустойчивости сведется к сопоставлению тяжести возмущений, приводящих к нарушению устойчивости по разным сечениям. Этот способ выявления структуры неустойчивости отказывается от отслеживания развития колебательной структуры во времени (то есть, по сути, от интегрирования уравнений движения системы), заменяя его анализом движения в ожидаемых заведомо опасных по устойчивости структурах колебаний, вызванных рассматриваемым возмущением. Если, при этом, расчет траектории движения модельной колебательной структуры заменяется некоторым ее прогнозом, то способ приобретает качественный характер. Для анализа динамической устойчивости обычно достаточно рассматривать траекторию движения системы на первом и втором циклах качаний.

Применение такого способа базируется на определении состава «слабых» сечений системы, проявляющихся при электромеханических колебаниях. Для этого обратимся к известным представителям колебательных структур, так называемым собственным или волновым структурам. Это структуры, формируемые собственными «малыми» колебаниями системы с «выключенным» демпфированием около ее центра инерции. Каждому колебательному движению с собственной частотой  $f_k$  отвечает уникальная, неизменная во времени, волновая структура  $S_k$ . Собственные гармонические колебания смежных подсистем волновых структур происходят в противофазе [1]. Введем определения, характеризующих волновые (и вообще, колебательные) структуры [1]. Число подсистем в структуре, – ее размерность. Участок структуры из последовательной цепочки подсистем, – направление. Волновое расстояние между подсистемами по некоторому пути – число электромеханических волн, укладываемых между ними при однократном прохождении этого пути. Волновое расстояние между смежными подсистемами равно 1/2 (половине волны). Волновые размеры структуры – максимальное волновое расстояние, которое можно на ней измерить. Если суммарную инерцию синхронных машин, вошедших в подсистему, связать с диаметром отображающего ее круга (более «тяжелые» подсистемы имеют большие размеры), то волновые структуры выглядят, например, так, как это показано на рисунке 1.

Волновые структуры отображают структурную организацию стоячих «малых» электромеханических волн с различными собственными частотами. Особенностью волновых структур энергосистем масштаба ЕЭС России оказывается то, что подавляющее большинство из них, лежащих в верхней плотной полосе спектра, имеют звездообразный характер и малые волновые размеры (локальные колебания). И только несколько десятков волновых структур колебаний нижней и средней относительно разреженных полос спектра (с частотами до ~1,2 Гц) имеют цепочечный или разветвленный цепочечный характер с направлениями сравнительно больших волновых размеров (системные колебания). Кольцевые структуры встречаются весьма редко (единичные случаи).

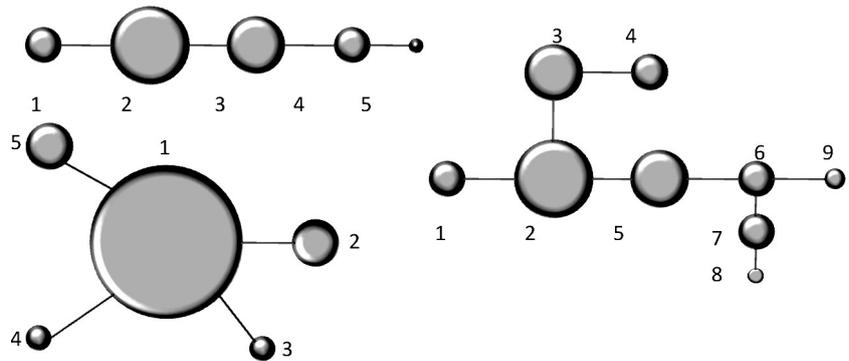


Рисунок 1 – Примеры волновых структур энергосистемы

Для характеристики процессов распространения колебаний используется представление о бегущих волнах. Так как длины бегущих и стоячих электромеханических волн одной и той же частоты совпадают между собой из-за совпадения их дисперсионных соотношений, то направления волновых структур можно ассоциировать с каналами распространения «малых» бегущих колебаний соответствующих частот [1]. Это предположение позволяет оценить время, необходимое для установления стоячих «малых» колебаний низких и средних частот в сложной системе. Действительно, зная количество подсистем, входящих в макси-

мально развитое направление волновой структуры, и время прохождения бегущих противофазных колебаний между любыми смежными подсистемами (оцениваемое как полпериода колебаний), можно определить время, необходимое для прохождения бегущей волны от одного конца направления до другого. Для колебаний с частотами до ~1,2 Гц количество подсистем в направлениях волновых структур ЕЭС России постепенно возрастает от 2 до 12-15 [1]. Результаты оценки времени прохождения бегущих волн представлены на рисунке 2, где кривая 1-постоянная времени затухания колебаний, кривая 2-время прохождения бегущей волны. Так как время установления стоячих колебаний оценивается как удвоенное время прохождения бегущей волны, то, на базе рисунка 2, можно делать выводы о возможности развития затухающих стоячих колебаний различной частоты, охватывающих всю ЕЭС России.

Расчеты устойчивых переходных процессов в ЕЭС России, проводимые по нелинейной модели с «выключенным» демпфированием с целью определения времени прохождения колебаний различных частот [1], дают близкие результаты к оценкам, приведенным на рисунке 2. Это указывает на возможность выявления структур и оценки скоростей распространения устойчивых нелинейных колебаний на основе волновых структур и позволяет объяснить развитие наблюдаемой колебательной структуры движения во время переходного процесса. Действительно, наложение

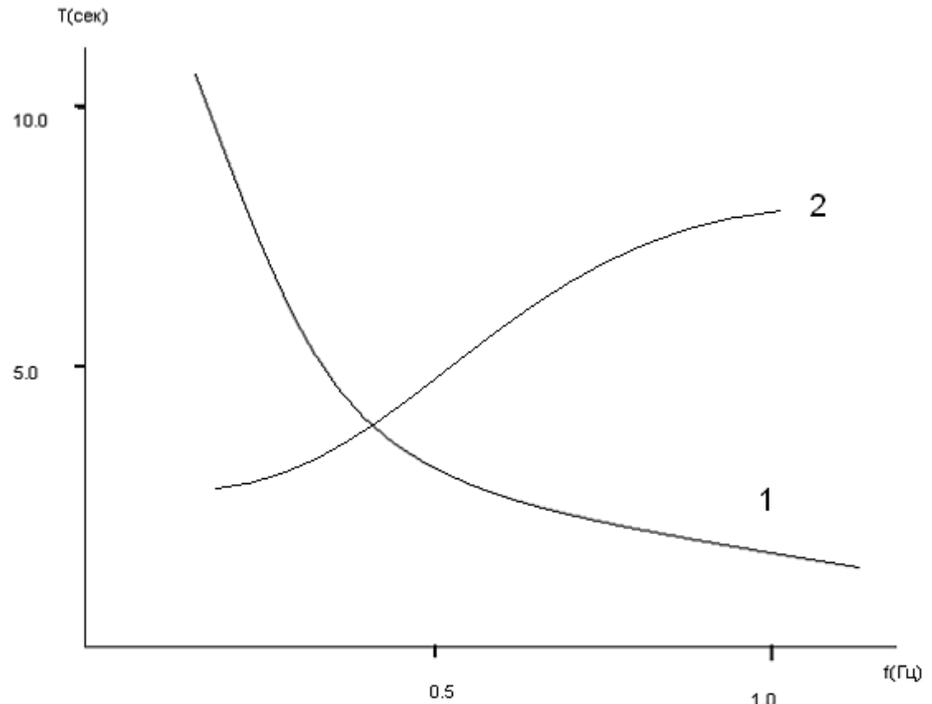


Рисунок 2 – Оценка времени распространения бегущих волн в ЕЭС России

нескольких, различно структурно организованных колебаний разного периода, распространяющихся по системе с разными скоростями по разным направлениям и затухающих с различной скоростью, неизбежно приведет к эффекту развития наблюдаемой колебательной структуры движения во времени. Расчеты процессов нарушения устойчивости показывают, что межсистемные сечения волновых структур действительно могут выступать сечениями асинхронного хода. Это означает, что межсистемные связи волновых структур (не обязательно все) входят в состав «слабых» сечений системы при электромеханических колебаниях.

Таким образом, волновые структуры системы содержат важную информацию об ее свойствах и при нелинейных колебаниях. Это связано с присутствием в них «слабых» сечений системы и отражением структурной организации (топологии) колебаний, при которой эти «слабые» сечения проявляются. Это означает, что каждая волновая структура выступает некоторым цельным, неделимым объектом, а их полная совокупность представляет динамические свойства системы при колебаниях. Расчет переходных процессов при конкретных возмущениях показывает, что колебания относительно центра инерции смежных подсистем структур системы, совпадающих с волновыми, могут быть и синфазными. Это относит такие разбиения на подсистемы к структурным образованиям, известным как пространственные осцилляторы [2] (которые, в настоящей статье, будем также называть просто осцилляторами). Применительно к энергосистемам под  $k$ -ым пространственным осциллятором будем понимать структуру разбиения на подсистемы, совпадающую с волновой структурой  $k$ -ого свободного движения при «малых» колебаниях. Собственную частоту «малых» колебаний  $f_k$

будем использовать в качестве индивидуального «имени»  $k$ -ого пространственного осциллятора.

Пространственные осцилляторы представляют собой варианты разбиения системы на подсистемы, на движение которых не накладывается никаких условий. Структуру пространственного осциллятора, для ее терминологического различения с волновой структурой, будем называть осциллирующей. Если смежные подсистемы какой-либо осциллирующей структуры, движущиеся синфазно на данном этапе конкретного переходного процесса, объединить между собой (слить), то, в результате такого структурного преобразования, будет получена колебательная структура движения этого осциллятора в рассматриваемом процессе. Понятно, что колебательные структуры осцилляторов по размерности не могут превосходить их осциллирующих структур, а их минимальная размерность равна двойке. Каждое сечение такой колебательной структуры может выступать как возможное сечение структуры неустойчивости системы (порожденной движениями данного осциллятора в данном переходном процессе).

Применительно к простейшей математической модели электромеханических переходных процессов (постоянные модули электродвижущих сил машин и моменты турбин) число степеней свободы системы равно числу синхронных машин в ней. Электромеханические переходные процессы в энергосистеме – это взаимные колебания синхронных машин и изменение средней частоты. Можно говорить, что движение системы из  $N$  синхронных машин определяется взаимодействием  $N - 1$  ее колебательных степеней свободы и одной поступательной. Формами проявления колебательных степеней свободы системы и выступают ее пространственные осцилляторы (полный набор которых также содержит  $N - 1$  элемент).

Каждому стационарному режиму системы соответствуют свой набор пространственных осцилляторов, характеризующих динамические свойства системы в окрестности ее состояния равновесия, определяемые топологиями осциллирующих структур, составом межсистемных связей и инерционностью подсистем. Для оценки влияния параметров возмущения на структуру неустойчивости можно воспользоваться представлением о том, что возмущающее воздействие возбуждает пространственные осцилляторы, насыщая их энергией колебаний. Будем связывать процессы нарушения устойчивости с некоторым предельным по устойчивости (критическим) возбуждением хотя бы одного из них. Количественной характеристикой может выступать величина предельной по устойчивости энергии колебаний данного пространственного осциллятора при том или ином возмущающем воздействии. Предельные значения энергии колебаний всех (или части) осцилляторов описывают, соответственно, весь (или часть) энергетического спектра предельных возмущений. При одновременном перевозбуждении нескольких осцилляторов структура неустойчивости (в общем случае, уже в многочастотном асинхронном ходе) будет зависеть от взаимного расположения сечений структур неустойчивости перевозбужденных осцилляторов в электрической сети системы (определяться топологической суммой [1] структур неустойчивости).

Представление о пространственных осцилляторах можно использовать в алгоритмах оценки устойчивости энергосистем, основанных на исследовании их движения в структурно организованных формах.

Одинаковый характер движения векторов напряжения в узлах подсистемы колебательной структуры относительно центра инерции системы связан с тем, что синхронные машины, принадлежащие этой подсистеме, движутся по отношению к центру инерции системы таким же образом. Общей характеристикой движения синхронных машин подсистемы может выступать движение центра инерции данной подсистемы относительно центра инерции системы. То есть представление о колебательной структуре движения имеет иерархический характер. На верхнем уровне находится общее движение системы, представляемое движением ее центра инерции. На среднем уровне иерархии – региональные движения, представляемые движениями центров инерции подсистем относительно центра инерции системы. На низшем уровне иерархии оказываются локальные движения синхронных машин в подсистемах, осуществляемые относительно центров инерции этих подсистем.

Для анализа поведения энергосистем в переходных режимах необходимо её разбить на некоторое количество подсистем. Получившееся разбиение системы на подсистемы и объединяющие их межсистемные связи представляет некоторое структурное отображение системы. Количество подсистем, входящих в структуру, дает ее размерность. Одна и та же система может представляться множеством ее структурных отображений.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Бушуев, В.В. Динамические свойства энергообъединений / В.В. Бушуев, Н.Н. Лизалек, Н.Л. Новиков. -М.: Энергоатомиздат, 1995. -319 с.  
2 Крауфорд, Ф. Волны. Т.3 / Ф. Крауфорд. -М.: Наука, 1974. -527 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *пространственные осцилляторы, колебательные структуры, предельные возмущения, диаграмма неустойчивости*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Лизалек Николай Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Ладнова Александра Николаевна, ведущий инженер СибНИИЭ, филиал ОАО «НТЦ электроэнергетики»  
Тонышев Владимир Федорович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Мочалин Константин Сергеевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Жунусов Алибек Казбекович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
630126, г. Новосибирск, ул. Кленовая, 10/1, СибНИИЭ, филиал ОАО «НТЦ электроэнергетики»*

**СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ  
ВОЗМУЩЕНИЯХ**

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
Сибирский научно-исследовательский институт энергетики, филиал  
ОАО «Научно-технического центра электроэнергетики»

**Н.Н. Лизалек, А.Н. Ладнова, В.Ф. Тонышев,  
К.С. Мочалин, А.К. Жунусов**

**THE STRUCTURAL ANALYSIS OF TRANSIENTS IN ELECTROPOWER SYSTEMS AT DYNAMIC DISTURBANCES**  
«Novosibirsk state academy of water transport»  
Siberian research institute of energy, branch «Scientific-technical center electricity»  
N.N. Lizalek, A.N. Ladnova, V.F. Tonishev, K.S. Mochalin, A.K. Zhunusov

The approach to structural researches of instability stated on an example of short circuits. It based on the analysis of oscillatory structures of system and an estimation of their limiting excitation on stability.

*Keywords: structural analysis of the instability of power systems, the structure of the instability, the spatial oscillators, the vibrational structure*

На примере анализа коротких замыканий изложен подход к структурным исследованиям неустойчивости, основанный на анализе колебательных структур системы и оценке их предельного возбуждения по устойчивости.

Электромеханические переходные процессы в больших электроэнергетических системах при внешнем наблюдении образуют сложную картину. Однако анализ движения системы при различных возмущениях позволяет выявить его некоторое общее свойство. Оно формулируется на основе наблюдения (на этапах свободного движения) за перемещениями векторов напряжения в различных узлах системы в случае, когда их фазы измеряются относительно общей оси отсчета углов, вращающейся со скоростью центра инерции системы. Выделенные таким образом колебания в системе около ее центра инерции происходят в форме движений областей (подсистем), любые смежные из которых движутся, на некотором интервале времени, в противоположных направлениях, то есть колебательное движение волнообразно распределено по системе. По мере развития переходного процесса количество и состав подсистем, а также способ их объединения межсистемными связями в наблюдаемую колебательную структуру, в общем случае, изменяются.

Расчет переходных процессов при конкретных возмущениях показывает, что колебания относительно центра инерции смежных подсистем структур системы, совпадающих с волновыми, могут быть и синфазными [1]. Это относит такие разбиения на подсистемы к структурным образованиям, известным как пространственные осцилляторы [2] (которые, будем также называть просто осцилляторами). Применительно к энергосистемам под  $k$ -ым пространственным осциллятором будем понимать структуру разбиения на подсистемы, совпадаю-

щую с волновой структурой  $k$ -ого свободного движения при «малых» колебаниях. Собственную частоту «малых» колебаний  $f_k$  будем использовать в качестве индивидуального «имени»  $k$ -ого пространственного осциллятора.

Разобьем энергосистему на некоторое количество подсистем. Получившееся разбиение системы на подсистемы и объединяющие их межсистемные связи представляет некоторое структурное отображение системы. Количество подсистем, входящих в структуру, дает ее размерность. Одна и та же система может представляться множеством ее структурных отображений.

Представим скорость вращения  $j$ -ой синхронной машины в виде суммы постоянной слагающей (частоты вращения в исходном режиме) и трех относительных процессов:

$$\Omega_{ej}(t) = \Omega_0 + \Delta\Omega_{ejs}(t) + \Delta\Omega_{s0}(t) + \Delta\Omega_0(t); \quad (1)$$

$$\Delta\Omega_0(t) = \Omega_0(t) - \Omega_0; \quad \Delta\Omega_{s0}(t) = \Omega_{s0}(t) - \Omega_0(t); \quad \Delta\Omega_{ejs}(t) = \Omega_{ej}(t) - \Omega_{s0}(t);$$

$$\Omega_0(t) = \frac{\sum_i J_i \Omega_{ei}(t)}{\sum_i J_i}; \quad \Omega_{s0}(t) = \frac{\sum_{i_s} J_{i_s} \Omega_{e_{i_s}}(t)}{\sum_{i_s} J_{i_s}}. \quad (2)$$

где  $\Omega_0(t)$  – скорость перемещения центра инерции системы;

$\Omega_{s0}(t)$  – скорость перемещения центра инерции подсистемы, к которой отнесена данная синхронная машина;

$i, i_s$  – множества синхронных машин во всей системе и  $s$ -ой подсистеме;

$J_i$  – моменты инерции;

$\Delta\Omega_0(t)$  – переменная отклонение скорости перемещения центра инерции системы от частоты исходного стационарного режима  $\Omega_0$ ;

$\Delta\Omega_{s0}(t)$  – синхронное движение подсистемы – региональный процесс, определяемый отклонением скорости перемещения центра инерции подсистемы относительно скорости перемещения центра инерции системы;

$\Delta\Omega_{ejs}(t)$  – индивидуальное движение – локальный процесс движения синхронной машины в  $s$ -ой подсистеме относительно ее центра инерции.

Абсолютное перемещение ротора синхронной машины представляется

$$\delta_{ei}(t) = \delta_{ej}(0) + \Omega_0 t + \int_0^t [\Delta\Omega_0(t) + \Delta\Omega_{s0}(t) + \Delta\Omega_{ejs}(t)] dt = \delta_{ej}(0) + \delta_0(t) + \Delta\delta_0(t) + \Delta\delta_{s0}(t) + \Delta\delta_{ejs}(t). \quad (3)$$

Движение системы, описываемое с помощью введенной иерархической системы относительных процессов, будем называть структурно организованным. При изменении структуры одной и той же системы одно и то же движение организуется различным образом (обладает разными формами структурной организации). Для каждой структуры системы вводятся в рассмотрение составляющие ее региональные и локальные объекты: подсистемы как элементы системы и отдельные синхронные машины как элементы подсистем.

Вне зависимости от способа разбиения системы на подсистемы выполняются соотношения сохранения импульса:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_s J_s \Delta\Omega_{s0}(t) = 0; \\ \sum_{i_s} J_{i_s} \Delta\Omega_{e_{i_s}}(t) = 0; \\ \sum_s J_s \frac{d(\Delta\Omega_{s0})}{dt} = 0; \\ \sum_{i_s} J_{i_s} \frac{d(\Delta\Omega_{e_{i_s}})}{dt} = 0; \\ \sum_s \int_0^t J_s \Delta\Omega_{s0}(t) dt = \sum_s J_s \Delta\delta_{s0}(t) = 0; \\ \sum_{i_s} \int_0^t J_{i_s} \Delta\Omega_{e_{i_s}}(t) dt = \sum_{i_s} J_{i_s} \Delta\delta_{e_{i_s}}(t) = 0, \end{array} \right. \quad (4)$$

где  $J_s$  – суммарный момент инерции подсистемы,

$$J_s = \sum_{i_s} J_i .$$

Составляющие угловых скоростей отвечают уравнениям относительного движения:

$$\begin{cases} J_s \frac{d(\Delta\Omega_0)}{dt} = \Delta M_s; \\ J_s \frac{d(\Delta\Omega_{s0})}{dt} = \Delta M_s - \frac{J_s}{J_s} \Delta M_s; \\ J_i \frac{d(\Delta\Omega_{eis})}{dt} = \Delta M_i - \frac{J_i}{J_s} \Delta M_s, \end{cases} \quad (5)$$

где  $J_s$  – суммарный момент инерции системы,

$$J_s = \sum_s \sum_{i_s} J_i = \sum_i J_i ;$$

$\Delta M_s$  – суммарный избыточный момент на валах машин в системе;

$\Delta M_s$  – суммарный избыточный момент  $s$ -ой подсистемы;

$\Delta M_{s0}$  – избыточный момент, действующий на подсистему при ее относительном движении около центра инерции системы,

$$\Delta M_{s0} = \Delta M_s - \Delta M_s \frac{J_s}{J_s} ;$$

$\Delta M_{is}$  – избыточный момент, действующий на синхронную машину при ее относительном движении около центра инерции подсистемы, в которую она входит,

$$\Delta M_{is} = \Delta M_i - \Delta M_s \frac{J_i}{J_s} .$$

Добавка кинетической энергии, приобретенная системой в переходном процессе

$$\Delta K(t) = 0,5 \sum_s \sum_{i_s} J_i \Delta\Omega_{eis}^2(t) + 0,5 \sum_s J_s \Delta\Omega_{s0}^2(t) + \Omega_0 J_s \Delta\Omega_0(t) + 0,5 J_s \Delta\Omega_0^2(t), \quad (6)$$

разбивается на составляющие

$$\Delta K(t) = \Delta K_{лок}(t) + \Delta K_{рег}(t) + \Delta K_{сис}(t),$$

где  $\Delta K_{лок}$ ,  $\Delta K_{рег}$ ,  $\Delta K_{сис}$  – соответственно, добавки кинетической энергии за счет локальных колебательных процессов в подсистемах, региональных колебательных процессов в системе и системного процесса в поступательной степени свободы.

Колебательные составляющие добавок кинетической энергии (и их сумма – кинетическая энергия колебаний) положительно определенные функции. Так как колебательные процессы имеют относительный характер, то, вне зависимости от знака отклонения скорости вращения, процесс, идущий на некотором интервале времени с нарастанием колебательной составляющей кинетической энергии, будем называть ускоряющимся по этой составляющей на этом интервале, а с уменьшающейся составляющей кинетической энергии – процессом торможения по этой составляющей. Изменения колебательных составляющих кинетической энергии связаны с работами на составляющих перемещений:

$$\begin{cases} \int_{t_0}^t d \left( J_s \frac{\Delta\Omega_{s0}^2}{2} \right) = \int_{\Delta\delta_{s0}(t_0)}^{\Delta\delta_{s0}(t)} \Delta M_{s0} d(\Delta\delta_{s0}); \\ \int_{t_0}^t d \left( J_i \frac{\Delta\Omega_{eis}^2}{2} \right) = \int_{\Delta\delta_{eis}(t_0)}^{\Delta\delta_{eis}(t)} \Delta M_{is} d(\Delta\delta_{eis}). \end{cases} \quad (7)$$

Для ускоряющихся (в указанном выше смысле) движений работа положительная, для движений с торможением – отрицательная.

Изменение формы структурной организации процесса приводит только к изменению удельного веса составляющих добавок кинетической энергии, связанных с локальными и региональными колебаниями (при неизменности их суммы), то есть *кинетическая энергия колебаний инвариантна к изменению структуры*. То же относится и к сумме работ, производимых при перемещениях региональных и локальных объектов системы. Составляющие, связанные с перемещением центра инерции системы, не зависят от ее структуризации. Структура системы может выбираться из различных соображений, однако в настоящей работе будут использоваться ее осциллирующие структуры.

Применим подход к оценке устойчивости, основанный на законе сохранения энергии. Будем рассматривать случай, когда послеаварийный режим существует и совпадает с исходным состоянием системы. При этом наборы пространственных осцилляторов исходного и послеаварийного режимов совпадают. Такая ситуация возникает при возмущениях, вызванных парами противоположных коммутаций одного и того же элемента в системе, отделенных друг от друга некоторым интервалом времени. Тяжесть таких возмущений определена длительностью этого интервала.

Рассмотрим реакцию системы, находящейся в состоянии равновесия, на ударное (импульсное) возмущение в течение очень короткого интервала времени  $dt$ . Изменения угловых скоростей объектов структурно организованного движения определяются в соответствии с выражениями:

$$\begin{cases} J_s \Delta \Omega_0 (dt) = \Delta M_s dt; \\ J_s \Delta \Omega_{s0} (dt) = \Delta M_{s0} dt; \\ J_i \Delta \Omega_{zis} (dt) = \Delta M_{is} dt. \end{cases} \quad (8)$$

Каждый из объектов на выделенных уровнях иерархии приобретет импульс, определяемый приведенными соотношениями, и, соответственно, некоторую добавочную кинетическую энергию. Добавка кинетической энергии распределится между иерархическими уровнями:

$$\begin{cases} \Delta K_{cuc} (dt) = 0,5 J_s \Delta \Omega_0^2 (dt) + \Omega_0 J_s \Delta \Omega_0 (dt); \\ \Delta K_{pez} (dt) = 0,5 \sum_s J_s \Delta \Omega_{s0}^2 (dt); \\ \Delta K_{лок} (dt) = 0,5 \sum_s \sum_{i_s} J_i \Delta \Omega_{zis}^2 (dt). \end{cases} \quad (9)$$

После снятия импульсного возмущения в момент  $dt$  оказывается, что объекты приобрели кинетическую энергию, но отреагировать своим смещением еще не успели.

Определение предельных по устойчивости возмущений требует вычисления запасов по работам торможения объектов, которые может совершить система для компенсации приобретенной ими кинетической энергии (глубины потенциальных ям, в которых находятся объекты). Наблюдатель в момент  $t_0$  может оценить этот запас, предположив, в простейшем случае, что скорости объектов далее остаются постоянными. Тогда оценка сводится к расчету работ при прогнозируемом движении объектов по возможным траекториям, продолжающим действительные траектории после момента  $t_0$ . В общем случае, возможными траекториями будем называть те, на которых соблюдаются соотношения сохранения импульса (1) и выполняются уравнения баланса мощностей в узлах системы (при этом действительные траектории являются подмножеством возможных). Появление экстремума функции, определяющей зависимость работы от смещения объекта по возможной траектории  $A_{об}(\Delta \delta_{об})$ , дает оценку ее предельного значения и критического смещения  $\Delta \delta_{крит}$ . Если кинетическая энергия объекта в момент  $t_0$  равна или превосходит оцененный запас по работе торможения, то можно ожидать нарушения устойчивости при угловом смещении, равном критическому, через интервал времени

$$\Delta T = \int_{\Delta \delta_{об}(t_0)}^{\Delta \delta_{крит}} \frac{d\Delta \delta_{об}}{\sqrt{2/J_{об}} \sqrt{K_{об}(t_0) + A_{об}(\Delta \delta_{об})}}, \quad (10)$$

где  $K_{об}(t_0)$  – кинетическая энергия объекта в момент;

$A_{об}(\Delta \delta_{об})$  – работа торможения объекта, как функция его смещения относительно его положения в момент  $t_0$ .

Теперь можно определить основные черты алгоритма оценки параметров ударных возмущений, предельных по устойчивости объектов структурно организованного движения по возможным траекториям. Распределение импульса между объектами системы зависит, в основном, от места приложения возмущения. При выбранном расположении возмущения увеличение его тяжести можно смоделировать пропорциональным ростом амплитуд импульсов объектов за счет роста интервала  $dt$ . Выберем возмущение некоторой фиксированной тяжести (пробное возмущение). Пробное возмущение характеризуется кинетической энергией, дополнительно приобретенной системой за интервал импульсного воздействия

$\Delta K^{проб}(dt)$

$$\Delta K^{проб}(dt) = \Delta K_{сис}^{проб}(dt) + \Delta K_{рег}^{проб}(dt) + \Delta K_{лок}^{проб}(dt). \quad (11)$$

Проведем расчет работ торможения на выбранных по тем или иным соображениям возможных траекториях объектов. Объект, работа торможения которого при перемещении по выбранному пути первой достигает экстремума, является виновником нарушения устойчивости при движении по данной возможной траектории.

Экстремальное значение работы торможения неустойчивого объекта показывает величину предельной кинетической энергии, которой возмущение должно наделять этот объект в момент  $dt$  для того, чтобы произошло нарушение устойчивости. Зная кинетическую энергию объекта, приводящую к нарушению устойчивости, определим соответствующий импульс этого объекта. Соотношение между предельным по устойчивости импульсом объекта и его импульсом при пробном возмущении  $\beta_{об}^{пред}$

$$\beta_{об}^{пред} = \frac{J_{об} \Delta \Omega_{об}^{пред}}{J_{об} \Delta \Omega_{об}^{проб}} = \frac{\Delta \Omega_{об}^{пред}}{\Delta \Omega_{об}^{проб}}, \quad (12)$$

показывает, как должны измениться импульсы всех объектов при изменении тяжести пробного возмущения до уровня, необходимого для нарушения устойчивости выбранного объекта при движении по возможной траектории. Тогда величину предельного возмущения (для характеристики которого удобно использовать кинетическую энергию колебаний системы, инвариантную к выбору структуры системы), можно вычислить по формуле

$$\Delta K_{кол}^{пред} = [\Delta K_{рег}^{проб}(dt) + \Delta K_{лок}^{проб}(dt)] (\beta_{об}^{пред})^2. \quad (13)$$

Рассмотрим алгоритмы выявления структур неустойчивости энергосистемы на примере пары коммутаций, обеспечивающих моделирование коротких замыканий конечной длительности (сходные алгоритмы пригодны и для других пар противоположных коммутаций, например, для коммутаций линий электропередач). Результатом аварийного воздействия является формирование, к моменту отключения шунта короткого замыкания  $\Delta t$ , распределенного по системе импульса

$$J_i \Delta \Omega_{ei} = \Delta M_i \Delta t,$$

где  $\Delta M_i$  – небалансы моментов при коротком замыкании в избранном узле системы.

При известном распределении  $J_i \Delta \Omega_{ei}$  определяются:  $\Delta \Omega_o(\Delta t)$  и  $\Delta \Omega_{io}(\Delta t) = \Delta \Omega_{ei} - \Delta \Omega_o(\Delta t)$ . Эти отклонения определяют свободные движения в поступательной и в колебательных степенях свободы системы, соответственно.

Выберем  $k$ -ый пространственный осциллятор. Колебательные импульсы  $J_i \Delta \Omega_{io}$  разделятся между его региональными и локальными движениями. В общем случае, смежные подсистемы приобретают импульсы не обязательно противоположного знака. Колебательная структура может быть получена из осциллирующей структуры после слияния смежных подсистем с одинаковыми знаками импульса. Кинетическая энергия колебательных движений в рамках полученной колебательной структуры при данном возмущении разделится на региональную и локальную составляющие

$$\Delta K_{кол}(\Delta t) = \Delta K_{рег}(\Delta t) + \Delta K_{лок}(\Delta t).$$

Это разделение характеризуется соотношением, определяющим долю региональных движений

$$L_k = \Delta K_{рег}(\Delta t) / \Delta K_{кол}(\Delta t).$$

Разделение энергии колебаний может рассматриваться и для колебательных структур других пространственных осцилляторов, для каждого из которых характерен свой весовой коэффициент энергии региональных движений. Можно предполагать, что те из них, в которых вес региональных движений имеет максимальное значение, и будут входить в состав доминирующих возбужденных пространственных осцилляторов (эти осцилляторы максимально резонируют с распределенным импульсом возмущения).

Проведем теперь для рассматриваемого пространственного осциллятора оценку предельного импульсного возмущения, приводящего к нарушению устойчивости по одному из межсистемных сечений полученной колебательной структуры. Эту оценку будем проводить для возможной траектории движения, характеризующейся неизменностью импульсов подсистем колебательной структуры и пренебрежением импульсами всех локальных движений в подсистемах (локальные импульсы обнуляются, что исключает возможность нарушения

устойчивости внутри подсистем за счет локальных движений). На такой траектории подсистемы выступают как цельные объекты, внутренние движения которых не дифференцированы и процессы нарушения устойчивости вынесены на границы подсистем. Перемещение по такой возможной траектории обеспечивается при пошаговом изменении углов синхронных машин

$$\delta_{ei}(t) = \delta_{ei}(0) + \int_0^t \Delta\Omega_{s0} dt,$$

где  $\delta_{ei}(0)$  – углы синхронных машин в исходном режиме, и расчете текущего режима в сети без шунта короткого замыкания, на основе которого определяются небалансы моментов на валах синхронных машин и работы торможения выбранных объектов системы.

В качестве таких объектов рассматриваются подсистемы всех возможных вариантов структур неустойчивости, которые могут образоваться на полученной колебательной структуре. Среди них отбирается вариант, подсистемы которого первыми (при перемещении по возможной траектории) достигают критического смещения. Результат расчета: структура неустойчивости рассматриваемого осциллятора и предельное значение кинетической энергии региональных колебаний подсистем структуры неустойчивости при импульсном воздействии.

Знание возможностей по торможению подсистем структуры неустойчивости осциллятора при импульсном возмущении в некотором узле системы позволяет оценить возмущение, предельное по устойчивости движения по выбранной траектории, вносимое уже при конечной длительности короткого замыкания. Для этого проводится пошаговый расчет работы ускорения подсистем отобранной структуры неустойчивости при небалансах относительных моментов, действующих на них на интервале короткого замыкания (то есть в схеме с шунтом короткого замыкания). При равенстве накопленной площади ускорения еще остающейся площадке торможения после отключения короткого замыкания ее величина фиксируется (эта процедура имеет прямое сходство с известным методом площадей, поэтому здесь и используется его терминология). Затем определяются полное изменение кинетической энергии колебаний (по описанному выше алгоритму, то есть с учетом локальных и региональных колебаний) и время, которое пройдет после отключения короткого замыкания до выхода подсистем структуры неустойчивости на предельное отклонение. Кроме этого, определяются времена выхода подсистем на предельное смещение при росте приобретенной ими кинетической энергии регионального колебательного движения свыше предельного значения.

Проведя аналогичные расчеты для других пространственных осцилляторов (и, при различии получающихся колебательных структур, соответственно, других возможных траекториях), получим оценку спектра предельных возмущений в рассматриваемом узле, приводящих к нарушению устойчивости по различным сечениям  $s_i$  энергосистемы в рамках осциллирующих структур с именами  $f_i$ .

Конечно, предельное возмущение по устойчивости только региональных колебаний одной колебательной структуры осциллятора может быть уже избыточным по устойчивости каких-либо ее локальных движений. Однако локальные движения в колебательной структуре одного пространственного осциллятора становятся региональными для другого (и, наоборот) за счет их топологического различия. Поэтому, при полном представительстве доминирующих колебаний, вероятность пропуска какой-либо структуры неустойчивости падает. Это обстоятельство и определяет возможность ограничиться анализом устойчивости взаимных колебаний подсистем (игнорируя возможности нарушения устойчивости внутри подсистем) для представительного набора доминирующих колебаний.

Результаты расчета для нескольких осцилляторов удобно отобразить на энергосремениной диаграмме. Ниже, на рисунке 1, приведен пример такой диаграммы для трех доминирующих колебаний конкретной энергосистемы (115 узлов, 33 синхронные машины) при коротком замыкании в некотором выбранном узле. Спектр собственных «малых» колебаний этой системы содержит 32 составляющие, колебания первого десятка из них имеют не звездообразные структуры. Горизонтальные отрезки прямых показывают энергетические уровни кинетической энергии колебаний, которой должна обладать система для развития неустойчивости различных осцилляторов (энергетические уровни возбуждения структур неустойчи-

ности осцилляторов). Длина этих отрезков показывает время, которое пройдет после отключения короткого замыкания до момента нарушения устойчивости при предельном возмущении. При запредельных возмущениях время выхода в критическую точку уменьшается (у каждой горизонтальной линии появляются направленные вверх и влево энерговременные «хвосты»). Сечения структур неустойчивости даны в виде номеров подсистем осциллирующих структур, между которыми находится это сечение. Кривая, выходящая из нуля, отображает зависимость приобретенной кинетической энергии колебаний от длительности короткого замыкания.

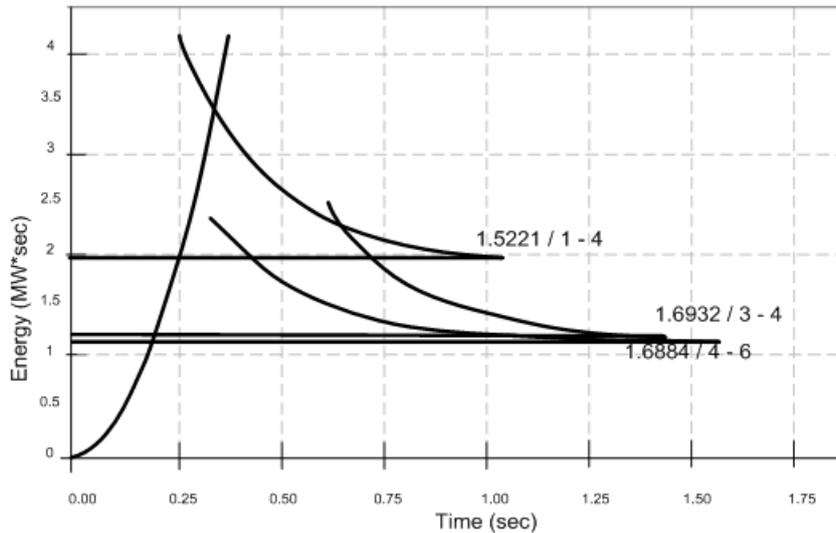


Рисунок 1 – Энерговременная диаграмма неустойчивости

Рассмотрение положения сечений трех полученных структур неустойчивости в электрической сети системы показывает, что все они совпадают между собой (это одно и то же сечение). Различие условий возбуждения неустойчивости этих осцилляторов по одной и той же структуре неустойчивости объясняется зависимостью траектории подсистем структур неустойчивости от состава и движения входящих в них подсистем колебательных структур (различающихся у разных осцилляторов). Из рисунка видно, что при коротком замыкании длительностью меньше  $\sim 0,2$  с нарушения устойчивости не произойдет. При росте длительности короткого замыкания свыше  $0,2$  с нарушение устойчивости, связанное с колебаниями осциллирующей структуры  $1,6884$  Гц, проявится в первую очередь. Энергетическая близость условий неустойчивости осцилляторов  $1,6884$  и  $1,6932$  Гц, определяется их структурной близостью. Так как сечения структур неустойчивости в сети совпадают, то при возмущениях, достаточных для возбуждения неустойчивости одного или нескольких осцилляторов, асинхронный ход остается двухмашинным. Из рисунка также видно, что при длительности короткого замыкания  $0,2$  с нарушение устойчивости произойдет через  $\sim 1,5$  с после отключения короткого замыкания, то есть имеется временной ресурс для осуществления противоаварийного управления, обеспечивающего сохранение устойчивости, равный  $1,5$  с. Соответственно, при росте длительности короткого замыкания, этот временной ресурс снижается. Проверка полученных результатов непосредственным расчетом переходного процесса показывает их хорошее совпадение как в части предельной длительности короткого замыкания, так и по расположению сечения асинхронного хода.

Если сделать предположение, что колебательные структуры пространственных осцилляторов во втором цикле качаний совпадают с колебательными структурами первого цикла, а импульсы подсистем только меняют знак, то можно оценить условия нарушения устойчивости и во втором цикле. Алгоритм такого расчета отличается от описанного не очень существенно (кроме расчета времени выхода подсистемы на предельное смещение).

На рисунке 2 приведена энерговременная диаграмма неустойчивости на первом и втором циклах качаний, рассчитанная при коротком замыкании в другом узле той же энергосистемы. Рассматривались две доминирующие осциллирующие структуры, причем для одной из них ( $1,5521$  Гц) оказалось, что возможно нарушение устойчивости во втором цикле. Соответствующая кривая изображена пунктиром. Видно, что развитие неустойчивости на втором цикле по сечению 1-4 этой структуры, происходит за большой интервал времени. При боль-

шей величине возмущения, достаточной для развития неустойчивости в первом цикле, неустойчивость будет наблюдаться в виде быстрого развития асинхронного хода по, несомпадающему в сети с предыдущим, сечению 7-8 пространственного осциллятора 1,4983 Гц. Непосредственный расчет переходного процесса в системе подтверждает полученный результат.

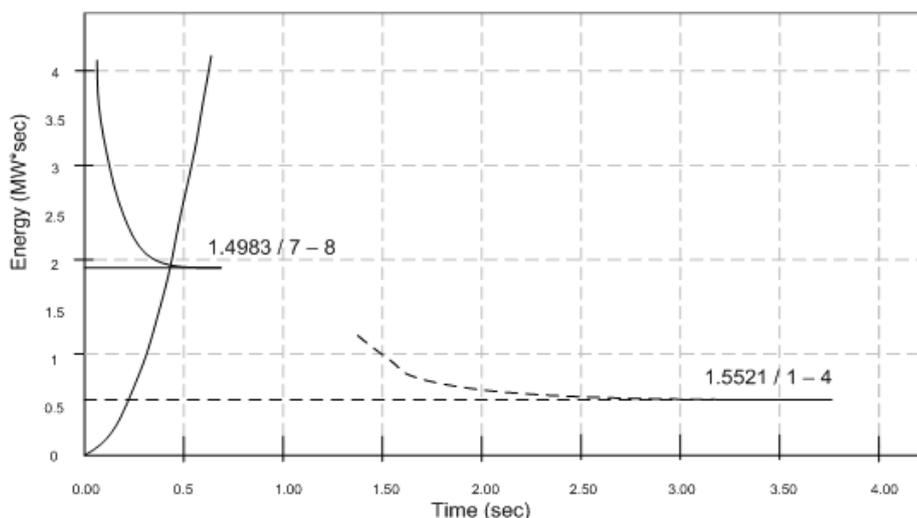


Рисунок 2 – Энерговременная диаграмма неустойчивости на первом и втором циклах качаний

Энерговременная диаграмма строится для некоторого узла и шунта короткого замыкания. Если провести такие расчеты для выбранной совокупности узлов и шунтов, то можно (уже для этой совокупности): оценить величины предельных возмущений, выделить сечения асинхронного хода, оценить возможность развития многочастотного асинхронного хода, определить запасы времени на противоаварийное управление с целью предотвращения нарушений устойчивости, определить области системы, возмущения в которых приводят к сходным сценариям развития аварии при нарушениях устойчивости и др. Это позволяет провести предварительный обзор содержания задач по прерыванию развития аварий при нарушениях устойчивости вследствие коротких замыканий в некотором регионе или во всей системе в целом.

Энергосистема как среда, в которой происходят электромеханические колебания, характеризуется естественной пространственной структурной организацией колебательных движений, отражающей их волновой характер. Процессы нарушения устойчивости системы существенным образом связаны с топологией ее электромеханических колебаний.

Исследование структур неустойчивого колебательного движения в системе удобно проводить с привлечением понятий о пространственных осцилляторах, их осциллирующих и колебательных структурах, а также возможных структурах неустойчивости, описывающих динамические свойства при колебаниях в энергосистеме с топологических позиций и используемых для получения различных форм структурно организованного движения.

Энергосистема может быть представлена множеством ее структурных отображений (структур). Любое движение системы может быть организовано на ее структуре. Структурно организованное движение имеет иерархический характер и состоит из общего движения системы, региональных движений подсистем и локальных движений в подсистемах. Множеству структур одной и той же системы соответствует множество структурно организованных форм одного и того же движения.

Анализ энергетических соотношений при движении различных объектов структурно организованного движения позволяет оценивать условия нарушения устойчивости этих объектов относительно их окружения.

Структурный анализ неустойчивости электромеханических переходных процессов энергосистем использует энергетические соотношения для структурно организованного движения. Его основной методический прием – формулировка задачи анализа устойчивости в виде совокупности взаимно дополняющих задач устойчивости движения по возможным траекториям подсистем пространственных осцилляторов системы при рассматриваемых возмущениях.

Алгоритмы структурного анализа динамической неустойчивости позволяют выявлять содержание задач обеспечения динамической устойчивости с оценками их основных характеристик (предельных возмущений, положения сечений асинхронного хода, временных ресурсов для осуществления управления и др.).

Проверка алгоритмов структурного анализа динамической неустойчивости при коротких замыканиях путем сопоставления результатов их использования с расчетами переходных процессов показала их применимость для исследования существенных черт развития неустойчивого движения в сложных энергосистемах.

Расширение постановки задачи анализа устойчивости энергосистем за счет включения в нее вопроса о пространственной организации неустойчивого движения позволяет получать результаты ее решения в новых формах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Лизалек, Н.Н. Анализ структур электроэнергетических систем в переходных процессах / Н.Н. Лизалек, А.Н. Ладнова, В.Ф. Тонышев, К.С. Мочалин, А.К. Жунусов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№1. -С. 339-344  
2 Крауфорд, Ф. Волны. Т.3 / Ф. Крауфорд. -М.: Наука, 1974. -527 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *структурный анализ неустойчивости энергосистем, структура неустойчивости, пространственные осцилляторы, колебательные структуры*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Лизалек Николай Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Ладнова Александра Николаевна, ведущий инженер СибНИИЭ, филиал ОАО «НТЦ электроэнергетики»  
Тонышев Владимир Федорович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Мочалин Константин Сергеевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
Жунусов Алибек Казбекович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
630126, г. Новосибирск, ул. Кленовая, 10/1, СибНИИЭ, филиал ОАО «НТЦ электроэнергетики»*

**СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ СО СДВОЕННЫМ ТОКОГРАНИЧИВАЮЩИМ РЕАКТОРОМ И С ИЗОЛИРОВАННОЙ ИЛИ ЗАЗЕМЛЕННОЙ ЧЕРЕЗ РЕЗИСТОР НЕЙТРАЛЬНО**

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
ОАО «Газпром»  
ООО «Производственное научное предприятие «Болид»  
ОАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Урала»

**Ю.М. Денчик, Д.А. Шкитов, Л.И. Сарин, И.Н. Дмитриев**

**SYSTEM OF REGISTRATION OF PROCESSES SINGLE-PHASE SWITCH ON THE GROUND IN A NETWORK OF AN AVERAGE PRESSURE WITH DUAL CURRENT LIMITING A REACTOR AND WITH A NEUTRAL ISOLATED OR EARTHED THROUGH THE RESISTOR**

«Novosibirsk state academy of water transport»  
«Gazprom»  
«Industrial scientific enterprise «Bolid»  
«Interregional distribution grid company of Urals»  
Ju.M. Denchik, D.A. Shkitov, L.I. Sarin, I.N. Dmitriev

The measurement technique of switching pulse pressure and resonances of the maximum harmonious components of a current of single-phase short circuit on the ground is offered

*Keywords: switching impulse voltages, resonance, the quality of the networks of medium voltage, waveform*

Предложена методика измерений коммутационных импульсных напряжений и резонансов высших гармонических составляющих тока однофазного замыкания на землю.

Качество функционирования сетей среднего напряжения (сети напряжением от 6 до 35 кВ) с изолированной нейтралью, содержащих сдвоенные токоограничивающие реакторы,

не удовлетворяет требованиям эксплуатации. Основной причиной, вытекающей из анализа актов технологических нарушений и аварий электросетевых распределительных компаний, являются однофазные замыкания на землю, которые обуславливают кондуктивные электромагнитные помехи (ЭМП), распространяющиеся по проводам. Эти ЭМП негативно влияют на сети как рецепторы: возрастают вероятности повреждения изоляции фаз при дуговых замыканиях на землю (ОДЗ) и перехода их в междуфазные короткие замыкания, появляются резонансы высших гармонических составляющих тока металлического замыкания фазы на землю (ОЗЗ) и наблюдаются феррорезонансные явления и т.д. Выделяются тяжёлые аварийные ситуации в сетях 10 кВ со сдвоенными токоограничивающими реакторами, приводящие к пробое изоляции вторичных обмоток силовых понижающих трансформаторов 110/10 кВ узлов нагрузок ферросплавных заводов [1].

Для разработки рекомендаций по повышению качества функционирования сетей среднего напряжения необходимо осуществлять мониторинг электромагнитной обстановки (ЭМО) на основе измерений параметров резонансных процессов и кондуктивных коммутационных импульсных помех. При этом кондуктивная коммутационная импульсная помеха представляется электромагнитной помехой в виде одиночного импульса, последовательности или пачки импульсов, возникающая при процессах коммутации тока и напряжения в сети и распространяющаяся по проводам. Электромагнитный же импульс отображает изменение уровня ЭМП в течение времени, соизмеримого со временем установления переходного процесса.

*Система регистрации переходных процессов.* Современный уровень развития средств вычислительной и измерительной техники позволяет построить систему регистрации процессов однофазных замыканий на землю на основе аналога – цифровых преобразователей (АЦП) и компьютера [2]. Эта система включает следующий комплекс аппаратуры:

- датчик напряжения и тока;
- кабели связи (передачи информации);
- платы АЦП или цифровые осциллографы (ЦЗО);
- персональный компьютер с программным обеспечением, позволяющим осуществлять обработку и анализ параметров записанных процессов (виртуальная лаборатория).

При этом рекомендуется использовать комплексный подход, который заключается в следующем [1]:

- осциллографируются фазные напряжения и токи замыкания на землю, что позволяет после конвертации проводить их дальнейшую математическую обработку во внешних программных пакетах;
- определяются гармоники основной частоты и их гармонические составляющие;
- анализируются полученные результаты.

В качестве базового примера применения системы регистрации, собранной с учётом изложенной концепции, представляется схема регистрации тока металлического и дугового ОЗЗ и фазных напряжений в трёх точках сети 10 кВ (рисунок), которая прошла апробирование в ПО «Серовские электрические сети» (подстанция 110/10 кВ «Ферросплав») [1-3]. В нормальном режиме секции 10СШ 10 кВ и 11СШ 10 кВ получают питание от трансформатора Т-6 типа ТДНГУ-63000/110. Ввод напряжения на каждую секцию осуществляется от одного из нижних плеч сдвоенного токоограничивающего реактора типа РТСТСГ 10-2×2500-0,2У1, верхнее плечо которого жёсткой ошинковкой пофазно соединяется с выводами обмотки 10 кВ питающего трансформатора. Расчётные значения ёмкостных токов однофазного замыкания на землю составляют на 10СШ 8,89 А, а на 11СШ – 7,06 А.

Измерения ёмкостных токов проводилось в соответствии с методом искусственного замыкания фазы сети на землю, изложенном в инструкции [4].

Данный метод является прямым и позволяет наиболее точно замерять фактические величины тока однофазного замыкания на землю для текущей конфигурации сети. Не представляет опасности для изоляции оборудования, которое испытывалось в соответствии с нормативными требованиями [4].

Для создания однофазных дуговых замыканий (ОДЗ) на землю используется искровой промежуток (ИП) с шаровыми медными электродами определённого (рассчитанного) диаметра. Расстояние между электродами устанавливается таким образом, чтобы обеспечить пробой воздушного промежутка при прохождении подвижного электрода под неподвижным (см. рисунок). За счёт заданной скорости вращения подвижного электрода (один оборот за 5 с) обеспечивалось горение перемещающейся (прерывистой) дуги при схождении – расхо-

ждении электродов, а также определённое количество циклов возникновения дуги [2].

На период проведения опытов с целью быстрого отключения места искусственного замыкания (в случае возникновения замыкания во втором месте) уставки по току и времени защиты фидера ячейки 59 11СШ 10 кВ выставляются минимальными (максимально токовая защита от ОЗЗ,  $I_{c3} = 30$  А; время отключения 0,05 с).

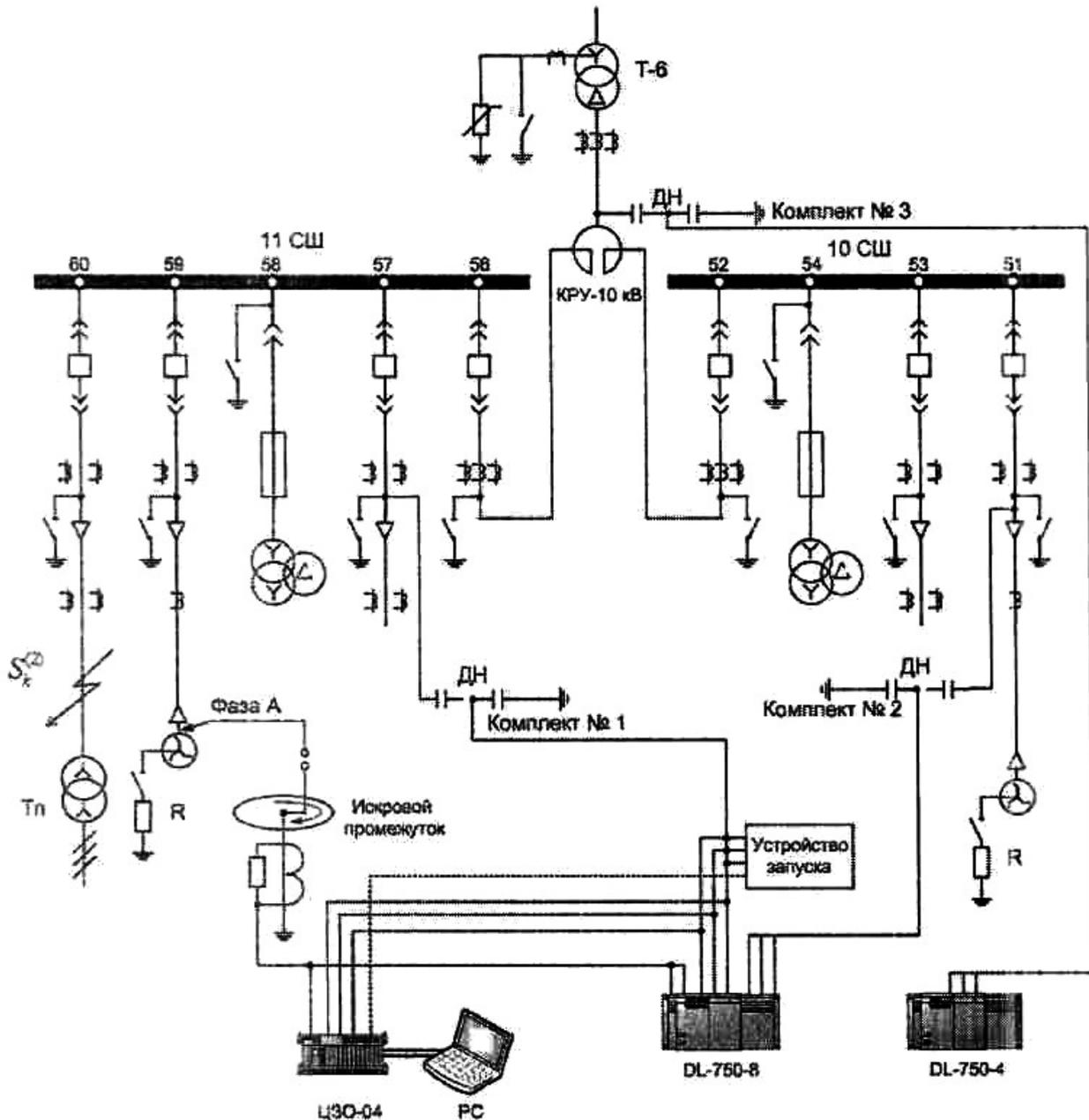


Рисунок – Схема подключения оборудования для регистрации токов металлического и дугового замыканий фазы на землю и фазных напряжений в сети 10 кВ со двоянным токоограничивающим реактором с изолированной или заземлённой через резистор нейтралью

Дуговое замыкание фазы на землю возникает после включения выключателя ячейки 59 11СШ 10 кВ и привода ИП. Команда на вращение нижнего электрода подаётся дистанционно с безопасного расстояния (не менее 8 м от ИП).

Для организации искусственного металлического однофазного замыкания на землю на присоединении ячейки 59 11СШ 10 кВ фаза А ввода фильтра типа ФМЗО соединяется с помощью провода с верхним плечом (неподвижного электрода) искрового промежутка. Нижнее плечо ИП с подвижным электродом соединяется с помощью стандартного комплекта переносной закоротки, рассчитанной на ток трёхфазного короткого замыкания, с системой заземления подстанции.

Металлическое ОЗЗ создаётся после включения выключателя ячейки 59 11СШ 10 кВ и

подачи напряжения по всем фазам фидера ФМЗО путём смыкания электродов без их циклического вращения. Команда на замыкание электродов и создание тем самым металлического ОЗЗ подавляется также дистанционно.

В качестве датчика тока используется трансформатор тока (ТТ). Датчик тока должен иметь линейную амплитудно-частотную характеристику, чтобы обеспечить требуемый частотный диапазон для записи сигнала (таблица).

Существующие стандартные ТТ типа ТМ-10 2У3 150/5 по своим частотным характеристикам пригодны для записи сигналов тока с высокочастотными составляющими с верхней границей 5 кГц и могут применяться наряду с токовыми датчиками Холла. Последним требуется отдельный источник питания, что не всегда удобно.

Класс точности используемого трансформатора тока составляет 0,5. Номинальное значение тока первичной обмотки ТТ превышает максимально ожидаемый ток ОЗЗ. От выводов вторичной обмотки ТТ, заактивированной сопротивлением 0,721 Ом, с помощью измерительного кабеля типа РК-50 длиной 10 м сигнал подаётся на один из входов цифрового осциллографа для записи тока замыкания фазы на землю. Максимально допустимый уровень искажений, вносимый кабелем связи, не превышает 0,5%.

Размещение установки оборудования при проведении экспериментов в сети 10 кВ указаны в таблице.

*Таблица – Места установки экспериментального оборудования в исследуемой сети 10 кВ*

Подключаемое в первичные цепи оборудование	Снимаемый сигнал	Место установки
Трансформатор тока ТЛМ-1 150/5	Ток однофазного замыкания на землю	Ячейка 59, фаза А
ДН-10, комплект №1	Фазные напряжения на 11СШ 10 кВ	Ячейка 51, фазы А,В,С
ДН-10, комплект №2	Фазные напряжения на 10СШ 10 кВ	Ячейка 57, фазы А,В,С
ДН-35, комплект №3	Фазные напряжения на шинном мосту «Т-6-РТСТСГ» 10 кВ	Шинные вводы фаз А,В,С реактора

Во время проведения опыта однофазного замыкания на землю также выполняется осциллографирование фазных напряжений в трёх точках сети. Осциллографирование фазных напряжений производится с помощью трёх комплектов высоковольтных делителей напряжения (ДН):

– на шинном мосту подключаются ёмкостные делители напряжения с изоляцией уровня 35 кВ (ДН-35, коэффициент деления  $K_{\text{ос}} = 12700 \pm 2,5\%$ , комплект №3) для регистрации напряжения на шинах между силовым трансформатором Т-6 и токоограничивающим реактором типа РТСТСГ;

– в кабельном отсеке ячейки 57 11СШ подключаются ёмкостные делители напряжения с изоляцией уровня 10 кВ (ДН-10, коэффициент деления  $K_{\text{о1}} = 4860 \pm 2,5\%$ , комплект №1) для регистрации напряжения на шинах 10 кВ 11СШ);

– в кабельном отсеке ячейки 51 10СШ подключаются ёмкостные делители напряжения с изоляцией уровня 10 кВ (ДН-10, коэффициент деления  $K_{\text{о2}} = 3700 \pm 2,5\%$ , комплект №2) для регистрации напряжения на шинах 10 кВ 10СШ.

Указанные ДН характеризуются также другими показателями, которые учитываются при выборе:

- максимально допустимое входное импульсное напряжение (при  $\tau_n = 0,1-1000$  мкс,  $f_n = 50$  Гц и  $t = 25$  °С) ..... 100 кВ;
- номинальный диапазон рабочих частот ..... 20- $1 \cdot 10^6$  Гц;
- активное сопротивление нагрузки ..... не менее  $1 \cdot 10^6$  Ом;
- ёмкостное сопротивление нагрузки ..... не более  $1 \cdot 10^9$  Ф;
- интервал рабочих температур от (-20) до 40 °С при относительной влажности ..... не менее 90%.

Для осциллографирования токов замыкания фазы на землю и коммутационных импульсных напряжений используются цифровые осциллографы. Осциллограф типа ЦЗО-04 USB (ЗАО «Руднев-Шилияев», Россия), сопряжённый с персональным компьютером, обеспечивает визуальное наблюдение, запоминание в цифровой форме и измерение амплитуд-

но-временных параметров периодических и непериодических электрических сигналов, в том числе однократных импульсов, в динамическом диапазоне от 4 мВ до 25 В, в полосе частот, определяемой частотой дискретизации, максимальное значение которой составляет 100 МГц при работе в режиме 4-х каналов.

Используются также два осциллографа и регистратора типа DL-750 Scope Corder (Yokogawa Electric Corporation, Япония) – четырёх и восьми канальный. Цифровой осциллограф DL-750-8 – многоканальная компьютеризированная система сбора, обработки и хранения данных, 8 аналоговых каналов, память – 25 млн. точек на канал, вертикальное разрешение 12 бит, встроенный принтер, PC card, USB, GP-IB, RS 232, SCSI, Ethernet, встроенный жёсткий диск 30 Гбайт. Этот прибор отвечает всем требованиям, когда необходимо проводить многочисленные измерения по нескольким измерительным каналам.

Осциллографы подключаются к низковольтным плечам ДН измерительными кабелями типа РК-50 длиной не более 15 м.

Программное обеспечение используемых цифровых осциллографов и внешние пакеты программ (например, Matlab) позволяют выполнить обработку полученных осциллограмм токов и напряжений для определения гармонического состава и амплитуд.

Резистивное заземление нейтрали сети реализуется на базе двух защитных резисторов типа РЗ-500-68-10 УХЛ1 (номинальные параметры: сопротивление – 500 Ом, мощность – 68 кВт, класс напряжения – 10 кВ, производитель ООО «ПНП Болид», г. Новосибирск). Каждый из резисторов включается в нейтраль специального фильтра типа ФМЗО-200/11 УХЛ1 (ОАО «РЭТЗ «Энергия», г. Раменское).

*Основные результаты, полученные в рамках проведённых исследований.*

1 Сдвоенный токоограничивающий реактор серии РТСТСГ в сети 10 кВ с изолированной или заземлённой через резистор нейтралью изменяет электромагнитную обстановку [5]:

– при однофазном замыкании на землю (дуговое, металлическое) в верхнем плече реактора наблюдаются значительные высокочастотные коммутационные импульсные напряжения (кратности находятся в пределах от 4,93 до 5,15), которые превышают в 1,5-2,5 раза эти напряжения на нижних плечах;

– при переходе однофазного дугового замыкания в двухфазное короткое замыкание на землю на верхнем плече реактора кратности коммутационных импульсных напряжений возрастают до 6,23.

2 Обнаружены параллельные резонансы высших гармонических составляющих тока металлического замыкания фазы на землю в сети 10 кВ с изолированной нейтралью. С увеличением ёмкостного тока сети резонансная частота смещается в область более низких частот.

3 Для повышения качества функционирования сети 10 кВ со сдвоенным токоограничивающим реактором серии РТСТСГ рекомендуется резистивное заземление нейтрали [5]. Включение двух резисторов типа РЗ-500 (см. рисунок):

– снижает коммутационные импульсные напряжения при дуговом замыкании фазы на землю на плечах сдвоенного реактора в 1,2 раза;

– дуга становится устойчивой при отношении активной составляющей тока к ёмкостной равном 1,8-2,5.

При этом необходимо выполнять направленную защиту от однофазных замыканий на землю с выдержкой времени для отстройки от бросков ёмкостного тока, нелинейные ограничители перенапряжений на нижних и верхнем плечах сдвоенного токоограничивающего реактора выбирать с учётом приведённых выше кратностей коммутационных импульсных напряжений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Сарин, Л.И. Комплексный подход к выбору средств ограничения перенапряжений в сетях 6-10 кВ крупных промышленных предприятий целлюлозно-бумажной и металлургической промышленности / Л.И. Сарин, М.В. Ильиных // Ограничение перенапряжений. Режимы заземления нейтрали. Электрооборудование сетей 6-35 кВ: тр. 4-й Все-росс. науч.-техн. конф. -Новосибирск, 2006. -216 с. -С. 55-62.

2 Ширковец, А.И. Методические подходы к осциллографированию процессов при однофазных замыканиях на землю в электрических сетях 6-35 кВ / А.И. Ширковец [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. Спецвыпуск. -2008. -№1. -С. 44-51.

3 Дмитриев, И.Н. Электромагнитная обстановка в сети 10 кВ с изолированной нейтралью как рецептора / И.Н. Дмитриев, Ю.М. Иванова [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2008. -№2. -С. 242-247.

4 ТИ 34-70-070-087. Типовая конструкция по компенсации ёмкостного тока замыкания на землю в электрических Сетях 6-35 кВ. -М.: ПО «Союзтехэнерго», 1988. -55 с.

5 Иванова, Ю.М. Исследование качества функционирования электрической сети 10 кВ с различными режимами работы нейтрали / Ю.М. Иванова [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2010. -№1.-С. 57-61

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** коммутационные импульсные напряжения, резонансы, качество функционирования сетей среднего напряжения, осциллограммы

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Денчик Юлия Михайловна, докторант ФГОУ ВПО «НГавт»  
Шкитов Денис Александрович, главный технолог управления энергетики ОАО «Газпром»  
Сарин Леонид Иванович, директор ООО «ПНП «Болид»  
Дмитриев Игорь Николаевич, канд. техн. наук, начальник департамента ОАО «МРСК Урала»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»  
117997, г. Москва, ГСП-7, ул. Наметкина, 16, ОАО «Газпром»  
630015, г. Новосибирск, ул. Электрозаводская, 2, корп. 6, ООО «ПНП «Болид»  
620026, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 140, ОАО «МРСК Урала»

## **СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ КАБЕЛЯ В ПОЛИМЕРНОМ ИЗОЛИРУЮЩЕМ ПОКРЫТИИ С ПОВРЕЖДЕНИЕМ**

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

**А.М. Ерита**

**THE EQUIVALENT CIRCUIT OF THE CABLE WITH DAMAGED ISOLATED POLYMER BLANKET**  
«Omsk state transport university»

A.M. Yerita

The methods of calculation of the cable with an isolated polymer blanket damage parameters are considered in the article.

*Keywords: isolation blanket, properties, inhomogeneity, cable, damage, electrochemical boundary*

Рассмотрена методика учета параметров повреждения в переходном сопротивлении кабеля в полимерном изолирующем покрытии.

Внешние металлические покрытия кабелей являются, как правило, однопроводными протяженными линиями с распределенными параметрами с использованием земли в качестве обратного провода. Как любая линия с распределенными параметрами содержит как продольные, так и поперечные неоднородности. В качестве продольных неоднородностей выступают соединительные муфты, или кабельные вставки, если их влиянием на распределение сигнала пренебречь невозможно, в силу их ограниченной длины, то это влияние учитывается через параметры. Материал соединительной муфты и материал оболочки соединяемых отрезков кабелей стремятся выбрать идентичным (одинаковым).

В качестве поперечных неоднородностей выступают места повреждения изолирующего покрытия кабеля, переходное сопротивление которых отличается от переходного сопротивления равновеликого неповрежденного участка на несколько порядков. Поэтому влияние поперечных неоднородностей на параметры измерительного сигнала, распространяющегося по однопроводной линии с повреждениями изолирующего покрытия, будет существенным.

Активная составляющая проводимости изоляции

$$G_{uz} = \frac{i_{ym}}{\varphi},$$

представляет собой утечку тока  $i_{ym}$  на участке единичной длины, отнесенную к вызывающему эту утечку потенциалу. Обратная величина

$$\frac{1}{G_{uz}} = R_{uz},$$

представляет собой сопротивление изоляции на единицу длины. На высоких частотах наблюдается поляризация диэлектрика в переменном электрическом поле, что приводит к до-

полнительной потере энергии. Эти потери характеризуются углом диэлектрических потерь  $\delta$

$$G_f = \omega C \operatorname{tg} \delta.$$

Поэтому полная проводимость изоляции складывается из двух составляющих, обусловленных сопротивлением изоляции и диэлектрическими потерями

$$G = G_{uz} + G_f = \frac{1}{R_{uz}} + \omega C \operatorname{tg} \delta.$$

В области низких частот, диэлектрическими потерями, как правило, пренебрегают в силу их малости.

Емкость также представляет собой коэффициент, который равен отношению заряда  $Q$  на участке единичной длины к потенциалу, его вызвавшему

$$C = \frac{Q}{\varphi}.$$

Следовательно, однородный участок представляет собой часть протяженного подземного сооружения, для которого можно допустить, что на данном участке не изменяются конструкция и материал проводника, конструкция и материал изоляции, параметры земли (удельное сопротивление  $\rho$ , диэлектрическая  $\varepsilon$  и магнитная  $\mu$  проницаемости).

Поскольку такие условия выполнить невозможно на значительном участке, то можно лишь говорить о некоторых усредненных по длине параметрах.

Периодические неоднородности: мелкие трещины и микропоры в изоляции, неоднородности состава грунта, могут быть представлены как равномерно распределенные по всей длине величины и отображаться некоторой усредненной величиной соответствующего параметра  $G, C$ .

При изготовлении кабельной продукции изоляционное покрытие наносится в заводских условиях, имеет относительно однородную структуру. Неоднородности могут появиться за счет разрушения изоляции со временем либо за счет различных механических повреждений, либо за счет проникновения в изоляционное покрытие влаги, растворов солей, кислот, щелочей. В последнем случае на границе сред «металл-электролит» возникают химические процессы, приводящие к разрушению металла.

С электрической точки зрения граница раздела может рассматриваться как емкость с утечкой. Из-за малых расстояний между разделенными зарядами емкость границы раздела имеет значительную величину [1].

Схема замещения участка кабельной линии с повреждением (дефектом) представлена на рисунке.

В приведенной схеме замещения учитываются усредненные распределенные дефекты изоляции за счет микропор и микротрещин, а также повреждения, возникающие в процессе эксплуатации.

Введение дефектов в схему замещения позволяет создать более универсальный метод расчета поперечных параметров подземных сооружений в полимерном изолирующем покрытии. Нормированные параметры изоляционных покрытий можно определить или по лабораторным испытаниям, или по технической документации на кабель, а расхождения с измерениями параметров изоляции на уложенной кабельной линии, которые появились в период строительно-монтажных работ или эксплуатации, являются результатом вклада дефектов.

В свою очередь, процент дефектности является мерой качества изоляционного покрытия: 0% – дефекты в изоляционном покрытии отсутствуют, 100% – отсутствует изоляция и кабель представляет собой протяженный заземлитель.

Схема замещения (см. рисунок) может быть приведена к эквивалентной схеме, содержащей последовательную ветвь – продольное сопротивление  $Z$ , и поперечную ветвь – поперечную проводимость  $Y$ .

Продольное сопротивление соответственно состоит из суммы составляющих

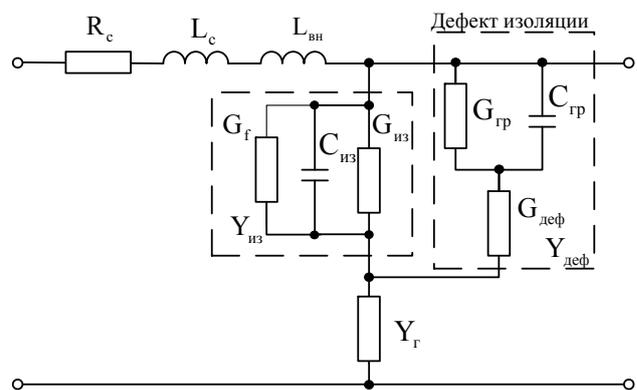


Рисунок – Схема замещения кабеля с дефектом изоляции

$$Z = R + j \omega L = R_c + j \omega (L_c + L_{сн}).$$

Поперечная проводимость изоляции запишется

$$Y_{uz} = G + j \omega C.$$

Результирующая проводимость с учетом параметров дефекта находится по формулам параллельного и последовательного соединения элементов

$$Y = \frac{Y_e (Y_{uz} + Y_{деф})}{Y_e + Y_{uz} + Y_{деф}},$$

где  $Y_{uz}$  – проводимость изоляции,

$$Y_{uz} = G_{uz} + j \omega C_{uz};$$

$Y_{деф}$  – проводимость дефекта,

$$Y_{деф} = \frac{Y_{эп} G_{деф}}{Y_{эп} + G_{деф}};$$

$Y_{эп}$  – проводимость границы раздела,

$$Y_{эп} = G_{эп} + j \omega C_{эп};$$

$C_{эп}$  – емкость дефекта площадью  $S_{деф}$ ,

$$C_{эп} = C'_{эп} S_{деф};$$

$C'_{эп}$  – емкость дефекта площадью  $S_{деф} = 1$ .

Емкость дефекта можно учесть через процент повреждения изоляции поверхности кабеля  $P$ . Тогда

$$C_{эп} = C'_{эп} \frac{\pi D_n P}{100},$$

где  $D_n$  – наружный диаметр металлической поверхности оболочки кабеля;

$P$  – приведенный процент оголенности (поры, трещины) на единицу длины сооружения,  $P = 0-100\%$ .

Проводимость границы раздела за счет дефекта определяется также через  $S_{деф}$  и сопротивление границы раздела на единицу поверхности дефекта  $R_{эп}$

$$G_{эп} = \frac{S_{деф}}{R_{эп}} = \frac{\pi D_n P}{R_{эп} 100}.$$

Следовательно, проводимость границы раздела (дефекта), запишем

$$Y_{эп} = \frac{P}{100} \pi D_n \left( \frac{1}{R_{эп}} + j \omega C'_{эп} \right).$$

Сопротивление среды в дефекте  $R_{деф}$  можно вычислить через приведенную площадь дефекта  $S_{деф}$ , толщину изоляции  $\delta_{uz}$  и сопротивление влаги на этом участке. В расчетах удельное сопротивление влаги можно принять равным удельному сопротивлению грунта  $\rho_e$  на глубине заделки кабеля, поэтому

$$R_{деф} = \frac{\rho_e \delta_{uz}}{S_{деф}}.$$

Проводимость среды в дефекте можно выразить также через процент дефектности (оголенности):

$$G_{деф} = \frac{1}{R_{деф}} = \frac{S_{деф}}{\rho_e \delta_{uz}} = \frac{\pi D_n P}{\rho_e \delta_{uz} 100}; \quad Y_{деф} = \frac{\pi D_n \left( \frac{1}{R_{эп}} + j \omega C'_{эп} \right)}{1 + \rho_e \delta_{uz} \left( \frac{1}{R_{эп}} + j \omega C'_{эп} \right)} \cdot \frac{P}{100}.$$

Полная проводимость изоляции

$$G_u = G_{zu} + G_{д.п.},$$

состоит из проводимости изоляции

$$G_{zu} = \frac{\pi D_n}{R_n},$$

где  $R_n$  – нормируемая величина сопротивления изоляции на единицу поверхности кабеля, Ом·м<sup>2</sup>,  
и проводимости за счет диэлектрических потерь

$$G_{д.п.} = \omega C_u \operatorname{tg} \delta,$$

где  $\operatorname{tg} \delta$  – составляющая диэлектрических потерь в изоляции.

При наличии дефектов в изоляционном покрытии площадь неповрежденной части изоляции уменьшается, поэтому проводимость изоляции

$$G_{zu} = \frac{\pi D_H}{R_n} \left( 1 - \frac{P}{100} \right).$$

Емкость, образуемая между боковой поверхностью сооружения и землей, определяется как емкость цилиндрического конденсатора

$$C_u = \frac{2\pi \varepsilon_e \varepsilon_0}{\ln \left( 1 + \frac{2\delta_{uz}}{D_H} \right)},$$

где  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная, Ф/м,

$\varepsilon_e$  – относительная диэлектрическая проницаемость грунта;

$\delta_{uz}$  – толщина слоя изоляции, м;

$D_H$  – наружный диаметр по металлической поверхности, м.

С учетом изменения боковой поверхности за счет дефектов, подстановки  $\varepsilon_0$  и некоторых преобразований, получим

$$C_u = \frac{\varepsilon_e \cdot 10^{-9}}{36\delta_{uz}} D_H \left( 1 - \frac{P}{100} \right).$$

Из полученных результатов следует, полное переходное сопротивление изоляционного полимерного покрытия шлангового типа, определенное с учетом наличия дефектов в изолирующем покрытии, является количественным показателем качества изолирующего покрытия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Графов, Б.М. Электрохимические цепи переменного тока / Б.М. Графов, Е.А. Укше. - М.: Наука. 1973. -127 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *изолирующее покрытие, параметры, неоднородность, кабель, повреждение, граница раздела*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Ерита Александр Михайлович, аспирант ГОУ ВПО «ОмГУПС»*

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

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ АВТОНОМНОСТИ ПЛАВАНИЯ ДИЗЕЛЬ-АККУМУЛЯТОРНОГО СУДНА

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

**В.В. Миханошин**

**DETERMINATION OF ENDURANCE OF A DIESEL-BATTERY SHIP**  
«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»  
V.V. Mikhanoshin

This article considers the method of estimation of endurance of a ship depending on the ratio of the power of diesel-generator and the capacity of electric storage battery, as well as the ratio of ship's time en route and her short-time stops.

*Keywords: vessel, diesel-generator, capacity, charging/discharging, current, voyage, rechargeable battery*

Рассматривается методика определения автономности плавания, в зависимости от соотношения мощности дизель-генератора и емкости аккумуляторной батареи, а также от соотношения времени движения судна и времени его кратковременных стоянок.

Одним из самых важных показателей гибридного дизель-аккумуляторного судна, структурная схема силовой энергоустановки которого изображена на рисунке 1, является автономность плавания (АП) [1]. Последняя непосредственно зависит от соотношения мощностей дизеля и аккумуляторной батареи.

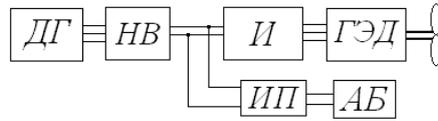


Рисунок 1 – Структурная схема гибридной энергоустановки: ДГ-дизель-генератор; НВ-неуправляемый выпрямитель; И-инвертор; ИП-импульсный преобразователь постоянного тока; АБ-аккумуляторная батарея

Предполагая, что АБ будет подзаряжаться в течение рабочего дня от судового ДГ, а основной ее заряд будет производиться от береговой сети, можно записать энергетический баланс накопителя [2]

$$Q = \sum_{i=1}^n I_{pi} \cdot t_{pi} - \sum_{k=1}^m I_{zk} \cdot t_{pk} \cdot \eta_{аб} - I_d \cdot t_{cm} \cdot \eta_{аб}, \quad (1)$$

- где  $Q$  – емкость АБ, затрачиваемая при движении судна во время одного рейса с учетом времени стоянки у берега, А·ч;  
 $t_p$  – время рейса, ч;  
 $I_{pi}$  – разрядный ток АБ в течение времени рейса, А;  
 $I_{zk}$  – зарядный ток АБ в течение времени рейса, А;  
 $t_{cm}$  – время стоянки судна между рейсами, ч;  
 $I_d$  – зарядный ток АБ от судового ДГ, А;  
 $\eta_{аб}$  – КПД АБ.

Расчет емкости по формуле (1) возможен в том случае, если известна временная диаграмма  $I(t)$  гребного электропривода.

При предположении, что ДГ независимо от нагрузки на рабочем органе (винте), будет всегда работать с постоянной мощностью, имеют место равенства:

$$\begin{aligned} I_{НВ} - I_{ИП} &= I_{И} \quad \text{при } I_{И} < I_{НВ}; \\ I_{НВ} + I_{ИП} &= I_{И} \quad \text{при } I_{И} > I_{НВ}. \end{aligned} \quad (2)$$

Процесс подзаряда АБ имеет место при первом равенстве (2), параллельной работы ДГ и АБ – при втором.

Упростим задачу, примем, что АБ подзаряжается только в периоды кратковременных стоянок у берега от ДГ, а в течение рейса разряжается неизменным по величине током. Тогда равенство (1) примет вид

$$Q = I_p \cdot t_p - I_d \cdot t_{cm} \cdot \eta_{аб} = Q_{раз} - Q_{зар}, \quad (3)$$

где  $Q_{раз}$ ,  $Q_{зар}$  – разрядная и зарядная емкость АБ соответственно, А·ч.

При 10 ч рабочем дне

$$t_{p\Sigma} + t_{ст\Sigma} = 10.$$

В уравнение (3) для определения требуемой емкости всеми величинами кроме КПД нужно задаваться. Введем коэффициенты:

$$k_1 = \frac{t_p}{t_{cm}}; \quad k_2 = \frac{I_p}{I_d}.$$

Полагая изменения величин  $t_p = 15-90$  мин,  $t_{cm} = 10-15$  мин, а соотношение мощностей ДГ и АБ в пределах от 1 до 2,5, то коэффициенты принимают следующие значения  $1,5 \leq k_1 \leq 9$ ;  $1 \leq k_2 \leq 2,5$ .

Тогда, при  $\eta_{аб} = 0,5$

$$k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{1}{\eta_{аб}} = \frac{I_p}{I_d} \cdot \frac{t_p}{t_{cm} \cdot \eta_{аб}} = \frac{Q_{раз}}{Q_{зар}} = (1...2,5)(1,5...9)2 = 3...45, \quad (4)$$

Подставив (4) в (3), получим

$$Q = (3...45)Q_{зар} - Q_{зар} = (2...44)Q_{зар}.$$

На рисунке 2 изображена зависимость требуемой емкости от времени движения судна.

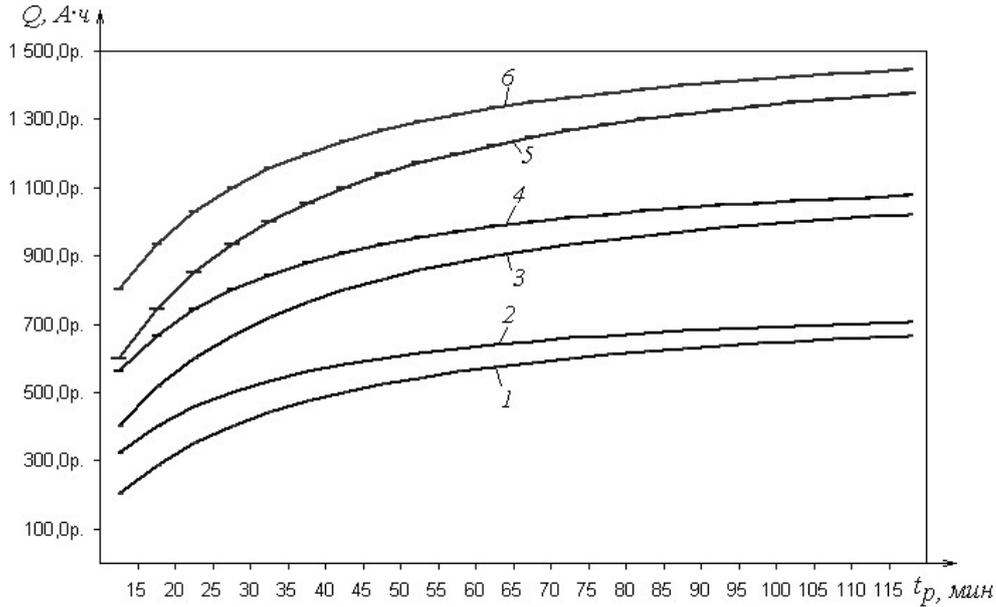


Рисунок 2 – Зависимость требуемой емкости АБ от длительности рейса при 8 ч рабочем дне: кривая 1-  $k_2 = 1$ ;  $t_{cm} = 15$  мин.; кривая 2-  $k_2 = 1$ ;  $t_{cm} = 10$  мин.; кривая 3-  $k_2 = 1,5$ ;  $t_{cm} = 15$  мин.; кривая 4-  $k_2 = 1,5$ ;  $t_{cm} = 10$  мин.; кривая 5-  $k_2 = 2$ ;  $t_{cm} = 15$  мин.; кривая 6-  $k_2 = 2$ ;  $t_{cm} = 10$  мин.

Соотношения разрядного и зарядного тока приняты равными:

$$\frac{I_{раз}}{I_{зар}} = 1; I_{раз} = I_{зар} = 100 \text{ А};$$

$$\frac{I_{раз}}{I_{зар}} = 1,5; I_{раз} = 150 \text{ А}; I_{зар} = 100 \text{ А};$$

$$\frac{I_{раз}}{I_{зар}} = 2,0; I_{раз} = 200 \text{ А}; I_{зар} = 100 \text{ А}.$$

Длительность рабочего дня равна 8 ч. Продолжительность рейса не более 2 ч.

Зная предполагаемый график работы судна по графикам, изображенным на рисунке 2 можно определить емкость тяговой АБ. На рисунке 3 изображена зависимость требуемой емкости от времени работы при 8, 10 и 12 часовом рабочем дне при времени паузы между рейсами 15 минут и  $k_2 = 1,5$ .

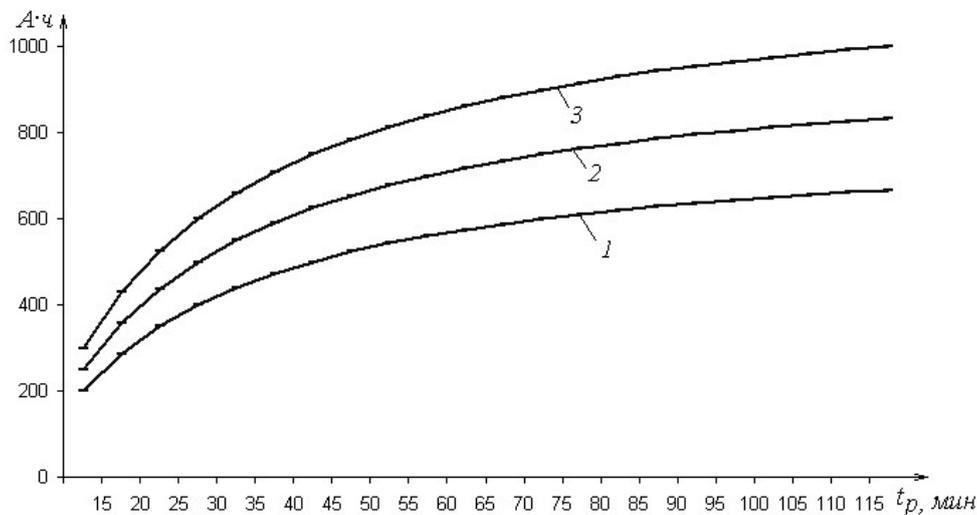


Рисунок 3 – Зависимость требуемой емкости АБ от длительности рейса при 8 ч (кривая 1), 10 (2) и 12 (3) часовом рабочем дне при  $t_{cm} = 15$  мин.

Из рисунка 3 видно, например, что при длительности рейса 1 ч при 12 ч рабочем дне емкость АБ должна не менее 850 А·ч.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Миханшин, В.В. Комбинированная энергетическая установка для судов прибрежного плавания / В.В. Миханшин // Вологодские чтения: сб. материалов науч. конф. / ДВГТУ. - 2009. -С. 134-137.

2 Миханшин, В.В. Комбинированная энергетическая установка судна – электрохода / В.В. Миханшин // Материалы XVI международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / ТПУ. -Томск, 2010. -Т.1. -С. 83-84.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** судно, дизель-генератор, емкость, зарядный/разрядный ток, рейс, аккумуляторная батарея

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Миханшин Виктор Викторович, ассистент ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТВОРА СОЛИ ЦЕРИЯ ПРИ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

А.Л. Новоселов, А.А. Новоселов, Г.В. Медведев, Д.С. Печенникова

### USING OF SALT CERIUM SOLUTION IN CATALYST CONVERTERS OF EXHAUST GASES

«Altai state technical university named I.I. Polzunov»

A.L. Novoselov, A.A. Novoselov, G.V. Medvedev, D.S. Pechennikova

It is considered that the supply of salt cerium solution before sooty filter of catalyst converter reduces the additional solid particles content by 25% in exhaust gases.

Keywords: catalyst, converter, supply, solution, salt of cerium, exhaust, gases

Подача соли церия перед сажевым фильтром каталитического нейтрализатора снижает дополнительно содержание твердых частиц в отработавших газах на 25%.

О влиянии подачи растворов солей церия в реактор нейтрализатора сообщалось в информации фирмы «Ситроен» (Франция). Известен факт использования растворов солей церия для раскоксовывания каталитических блоков нейтрализаторов для дизелей [1]. Использование же солей церия для снижения выбросов твердых частиц с отработавшими газами не описано в научно-технической литературе. В то же время обещающими фактами влияния на качество очистки отработавших газов дизелей в каталитических нейтрализаторах стали предварительные опыты по определению высоты некопящего пламени (ГОСТ 4338-74), показавшие, что при подаче паров солей церия в зону горения высота некопящего пламени увеличивается, что является косвенным показателем улучшения условий доокисления продуктов неполного сгорания. Авторами настоящей работы изучено влияние подачи водного раствора соли церия  $\text{CeCl}_3$  в реактор после завихрителя на впуске, перед фильтром твердых частиц, на качество очистки отработавших газов в каталитических СВС-блоках.

Рабочая гипотеза состояла в том, что использование раствора соли церия приведет к поддержанию чистоты фильтра твердых частиц, качественной очистки газов от твердых частиц и поддержания топливной экономичности за счет сохранения противодавления на выпуске [2].

Церий является лантаноидом и относится к третьей группе периодической системы элементов Д.И. Менделеева. В литературе нет ссылок на использование элементов этой группы для очистки отработавших газов.

Вместе с тем, соли церия хорошо растворимы в воде и апробированы на регенерации сажевых фильтров для дизелей. Однако в литературе вообще отсутствуют сведения об эффективности применения солей церия для очистки СВС-блоков каталитических нейтрализаторов, включая фильтра твердых частиц.

Соль церия  $\text{CeCl}_3$  в виде 10% раствора подавалась через электромагнитную форсунку под давлением после завихрителя потока перед фильтром очистки газов от твердых частиц (ФТЧ), при температуре отработавших газов 833 К, расход составлял  $3,1 \text{ г/м}^3$  отработавших газов.

Результаты определения влияния подачи 10% раствора соли церия после завихрителя потока газов перед блоком фильтрации твердых частиц представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние подачи раствора соли церия перед фильтрующим блоком нейтрализатора на качество очистки отработавших газов дизеля 6Ч15/18

Оценочные показатели вредных выбросов	Величины оценочных показателей, г/(кВт·ч)						Кратность превышения норм ЕВРО-3/4/5
	Допустимые уровни			Выбросы веществ			
	ЕВРО-3	ЕВРО-4	ЕВРО-5	без КН	с КН	раствор соли Се	
$\text{NO}_x$	5,00	3,50	2,00	10,29	6,61	6,49	1,30/1,85/3,24
СО	2,10	1,50	1,50	10,85	5,87	3,51	1,67/2,34/2,34
$\text{C}_x\text{H}_y$	0,60	0,46	0,25	1,53	0,816	0,64	1,06/1,39/2,56
ТЧ	0,10	0,02	0,02	0,219	0,092	0,056	0,56/2,80/2,80

Оценочные показатели удельных выбросов вредных веществ, приведенные в таблице 1

показывают, что увеличение полноты выгорания продуктов неполного сгорания не сопровождается воздействием на содержание оксидов азота в отработавших газах.

Данные говорят о том, что без каталитического нейтрализатора нормы вредных выбросов с отработавшими газами дизеля не выполняются, по требованиям ЕВРО-3...5. При этом обращают на себя внимание кратности превышения норм. Так нормы ЕВРО-5 по выбросам  $\text{NO}_x$  превышаются в 3,24 раза,  $\text{CO}$  – в 2,34 раза,  $\text{C}_x\text{H}_y$  – в 2,56 раза и твердых частиц - в 2,8 раза. Достижение показателей норм выбросов для данного типа дизелей по ЕВРО-4 и ЕВРО-5 в случае применения каталитического нейтрализатора с подачей раствора соли церия перед фильтром твердых частиц не достигается и, в том числе, по выбросам твердых частиц. Это свидетельствует о том, что применение растворов солей Се незначительно влияет на качество очистки отработавших газов в нейтрализаторах. По-видимому, применение их по прямому назначению для регенерации сажевых фильтров ограничивает их возможности.

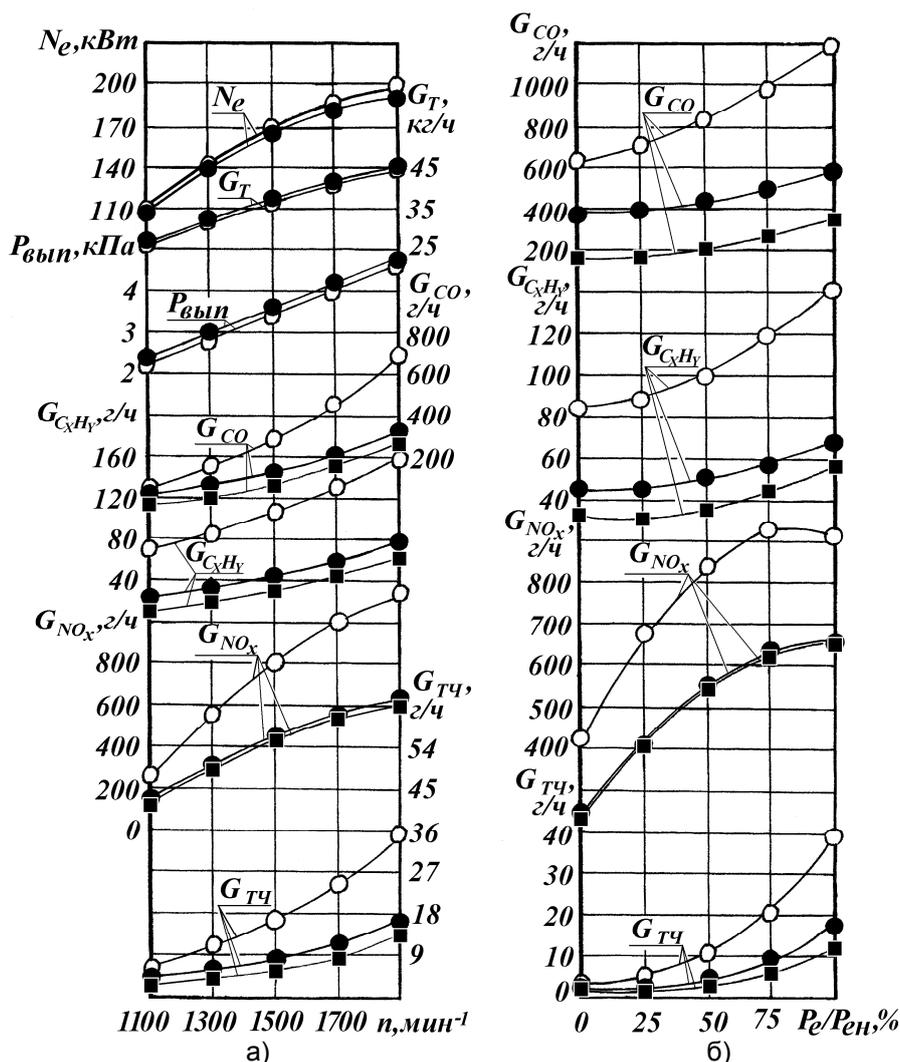


Рисунок 1 – Эффективность каталитической очистки отработавших газов дизеля 6Ч15/18: а)-по внешней скоростной характеристике; б)-по нагрузочной характеристике при 1900 мин<sup>-1</sup> (○-без КН; ●-с КН, □-подача 10% раствора соли церия перед ФТЧ)

В результате испытаний дизеля по внешней скоростной характеристике в диапазоне 1100-1900 мин<sup>-1</sup> обнаружены закономерности изменения выбросов оксидов азота, углеводородов, оксида углерода и твердых частиц (рисунок 1а). Здесь же показаны результаты очистки отработавших газов в каталитических блоках катализатора, в том числе, с подачей раствора соли Се перед фильтром твердых частиц. Снижение выбросов твердых частиц составляет не более 25%. Снижение выбросов  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_x\text{H}_y$  также незначительно, а выбросы оксидов азота остаются на прежнем уровне.

В результате испытаний дизеля по нагрузочной характеристике при 1900 мин<sup>-1</sup> обнаружены закономерности изменения выбросов  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_x\text{H}_y$ , и ТЧ (рису-

нок 1б). Здесь же показаны результаты очистки отработавших газов в каталитических блоках нейтрализатора, в том числе, с подачей раствора соли Се. Выбросы оксидов азота практически не изменяются, а снижение выбросов СО и С<sub>x</sub>Н<sub>y</sub> нельзя признать значительным.

Снижение значения удельного нормообъема на 9,2% свидетельствует о том, что подача раствора соли церия в реактор после завихрителя потока газов незначительно повышает качество очистки отработавших газов дизеля.

Для оценки общего уровня вредных выбросов был использован показатель удельного нормообъема, разработанный ранее В.И. Смайлисом и усовершенствованный А.Л. Новоселовым.

Оценка дизеля с каталитическим нейтрализатором по показанию удельного эксплуатационного нормообъема приведена в таблице 2.

*Таблица 2 – Изменение значения удельного нормообъема при каталитической нейтрализации отработавших газов*

Условия испытаний	Значение нормообъема, нм <sup>3</sup> /(кВт·ч)				
	NO <sub>x</sub>	СО	С <sub>x</sub> Н <sub>y</sub>	ТЧ	Σ
Дизель с КН	1322	293,5	2,86	23	1641
Доля, %	80,56	17,88	0,20	1,74	100
Подача раствора соли Се перед ФТЧ	1298	175,5	2,13	14,0	1490
Доля, %	87,11	11,78	0,14	0,97	100

**Выводы:**

1 Подача раствора соли церия перед фильтром очистки от твердых частиц положительно влияет на снижение выбросов твердых частиц и продуктов неполного сгорания;

2 Подача раствора соли Се в реактор каталитического нейтрализатора может быть использована только при регенерации сажевых фильтров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Уровни вредных выбросов транспортных дизелей / Т.А. Стопарева [и др]. // Ползунов. вестн. -2009. -№1/2. -С. 88-92.

2 Новоселов, А.Л. Снижение вредных выбросов дизелей / А.Л. Новоселов, А.А. Мельберт, А.А. Жуйкова. -Новосибирск: Наука, 2007. -139 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** каталитический, нейтрализатор, подача, раствор, соль церия, отработавшие, газы

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Новоселов Александр Леонидович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «АлтГТУ»

Новоселов Александр Александрович, докторант ГОУ ВПО «АлтГТУ»

Медведев Геннадий Валериевич, докторант ГОУ ВПО «АлтГТУ»

Печенникова Дарья Сергеевна, аспирант ГОУ ВПО «АлтГТУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 656099, г. Барнаул, пр. Ленина, 46а, ГОУ ВПО «АлтГТУ»

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМ РИСКОМ

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

**Е.А. Полищук, Е.Н. Егорова**

### ECOLOGICAL RISK MANAGEMENT SYSTEM

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

E.A. Polishuk, E.N. Egorova

This article discusses the concept of ecological risk, it presents the ecological risk management model.

*Keywords: ecological risk, ecological risk assessment, ecological risk management system*

Рассмотрено понятие экологического риска, представлены этапы и схема процесса управления экологическим риском.

Ускорение темпов и расширение масштабов производственной деятельности в современных условиях неразрывно связано с эксплуатацией энергонасыщенных технологий, а также с увеличением объемов использования и транспортировки опасных веществ. В ре-

зультате возрастают риски возникновения аварийных ситуаций, влекущих за собой потенциальную угрозу для здоровья и жизни людей, окружающей среды, объектов хозяйственной деятельности. В этой связи весьма актуальными остаются научные исследования в вопросах анализа, оценки и управления рисками.

Экологические риски, связанные с загрязнением окружающей среды, присущи всем видам производственной деятельности, использующим потенциально опасные технологии или вещества, выброс которых в окружающую природную среду влечет за собой негативные изменения. Пагубное воздействие вредных веществ на реципиентов в результате аварийного загрязнения формирует величину экологического ущерба. Экологические риски требуют повышенного к себе внимания, поскольку они, как правило, относятся к событиям, вероятность возникновения которых мала, а последствия могут стать необратимыми.

Можно определить понятие экологического риска, как опасность возникновения аварийной ситуации, влекущей за собой ущерб окружающей природной среде.

Виды хозяйственной деятельности, связанные с добычей и транспортировкой нефти и нефтепродуктов, входят в пятерку наиболее рискованных с экологической точки зрения видов деятельности, что объясняется большими размерами потенциальных ущербов, которые способны нанести нефтяные загрязнения. С ростом объемов добычи нефти на шельфах морских акваторий увеличиваются объемы транспортировки нефти и нефтепродуктов морскими путями, в результате чего возрастает опасность возникновения аварий с экологическими последствиями.

Разливы нефти и нефтепродуктов на морских акваториях происходят регулярно, о чем свидетельствует статистика, предоставляемая Международной организацией владельцев танкеров – ИТОПФ (International Tanker Owners Pollution Federation Limited) [1]. Данная организация собирает и предоставляет информацию о разливах нефти танкерами, начиная с 1970 года.

В базе данных ИТОПФ представлена общедоступная информация по данным об аварийных разливах нефти, общее количество которых составляет порядка 10000 инцидентов. Подавляющее большинство аварий (82%) относится к категории наименьшего объема, то есть меньше 7 т. Крупные разливы происходят гораздо реже, но при этом наносят больший экологический и экономический ущерб.

Количество крупных разливов нефти (объемом более 700 т) значительно снизилось за последние 40 лет. В частности, впервые с начала сбора статистики ИТОПФ в 2009 году не произошло ни одного крупного разлива нефти с участием танкеров [1].

Статистика аварийных разливов нефти свидетельствует о том, что полностью устранить риск негативного воздействия опасных веществ невозможно. Однако, можно свести величину экологического риска к минимуму. Для минимизации уровня экологического риска и предотвращения экологических катастроф необходимо установить стандарты и нормативы в системе управления экологическими рисками.

Система управления риском представляет собой совокупность методов, конечной целью существования которых является минимизация риска [2-4].

Управление риском включает разработку и реализацию экономически обоснованных рекомендаций и мероприятий, направленных на уменьшение начального уровня риска до приемлемого допустимого уровня [5].

Таким образом, процесс управления риском включает анализ рискованной ситуации, разработку и обоснование управленческого решения (нередко в форме правового акта), направленного на минимизацию риска [6].

Политика в области управления экологическим риском должна регулировать уровни негативного воздействия на природные экосистемы – формировать требования о непревышении установленных нормативов, соответствующих предельно допустимым экологическим нагрузкам на экосистемы.

Суть процесса управления экологическим риском заключается в минимизации его уровня. Процесс управления экологическим риском включает ряд этапов:

1) Выявление источников опасности, а также объектов негативного потенциального воздействия (реципиентов).

2) Оценка чувствительности окружающей среды (подверженность реципиентов реальному негативному воздействию источников опасности, устойчивость реципиентов к дестабилизирующему воздействию) – качественная оценка риска.

3) Анализ степени негативного воздействия на окружающую среду – количественная

оценка риска.

4) Комплексная характеристика риска как системы качественных и количественных параметров – оценка уровня риска.

5) Определение приемлемости уровня риска. Возможны три варианта принимаемых решений:

- риск приемлем полностью;
- риск неприемлем частично;
- риск неприемлем полностью.

В настоящее время уровень пренебрежимого предела риска обычно устанавливают как 1% от максимально допустимого [6].

6) Определение мер по регулированию риска и определение источников финансирования: в случае приемлемости – сохранение имеющегося уровня риска, в случае неприемлемости – устранение риска (прекращение хозяйственной деятельности) или уменьшение риска (снижение вероятности возникновения неблагоприятного случая или снижение величины возможного ущерба).

В качестве источников финансирования (покрытия) рисков требуется выбрать один из трех возможных вариантов: страхование, самострахование и сострахование.

7) Оценка эффективности методов воздействия на риск.

8) Принятие регулирующего решения – документальное оформление указаний по реализации мер, которые были установлены на предшествующей стадии (нормативный акт, закон, постановление, инструкция, положение).

Взаимосвязь оценки риска и управления риском показаны на рисунке. Оценка риска является частью процесса управления риском и осуществляется на этапах 2-7 (рисунок).

Предлагаемая модель (рисунок) формирует процесс управления риском, увязывая все его стадии, в том числе оценку риска, в единую концепцию.

Процесс управления риском, завершающийся реализацией мер по снижению величины риска возникновения аварийных ситуаций с экологическими последствиями, нуждается в информационном обеспечении. В основе реализации процесса управления риском лежит наличие статистических данных об аварийных загрязнениях окружающей среды, методики оценки экологических рисков, законодательно-нормативной базы.

Разработка методики оценки экологических рисков является основополагающим, начальным звеном в процессах управления экологическими рисками с целью их минимизации. Такая методика позволит выявить перечень рискообразующих факторов, взаимосвязи между ними и позволит определить способы оценки риска, посредством чего станет возможным снижение риска, повышение уровня экологической безопасности, и как следствие уменьшение величины ущерба (потенциального или фактического), наносимого окружающей среде аварийными загрязнениями.

На сегодняшний день существует проблема сбора статистических данных об авариях с экологическими последствиями, что обусловлено отсутствием методологии оценки экологической опасности того или иного вида хозяйственной деятельности. Имеющийся методический инструментарий является недостаточным для использования его в процессах управления экологическим риском. Нормативно-законодательная база характеризуется отсутствием комплексной системы документов, охватывающих все стороны экологических правонарушений и мер борьбы с ними, включая экономико-правовые инструменты защиты окружающей среды от аварийных загрязнений. Разработка правового механизма оценки экологического риска должна служить основой введения специальных государственных гарантий для потенциальных реципиентов, расположенных в зоне экологического риска [7]. Правовая система нуждается в Экологическом кодексе, включающем все аспекты регулирования защиты окружающей среды от экологических правонарушений. Наиболее эффективным из экономико-правовых способов защиты окружающей среды от аварийных загрязнений является экологическое страхование.

Таким образом, развитие эффективной системы управления экологическими рисками во многом зависит от разработки методик оценки риска, совершенствования методологии финансирования и сбора статистической информации о фактах экологических правонарушений, утверждения ряда нормативно-законодательных актов, регулирующих вопросы защиты окружающей среды от экологических правонарушений, включая экономико-правовые документы.

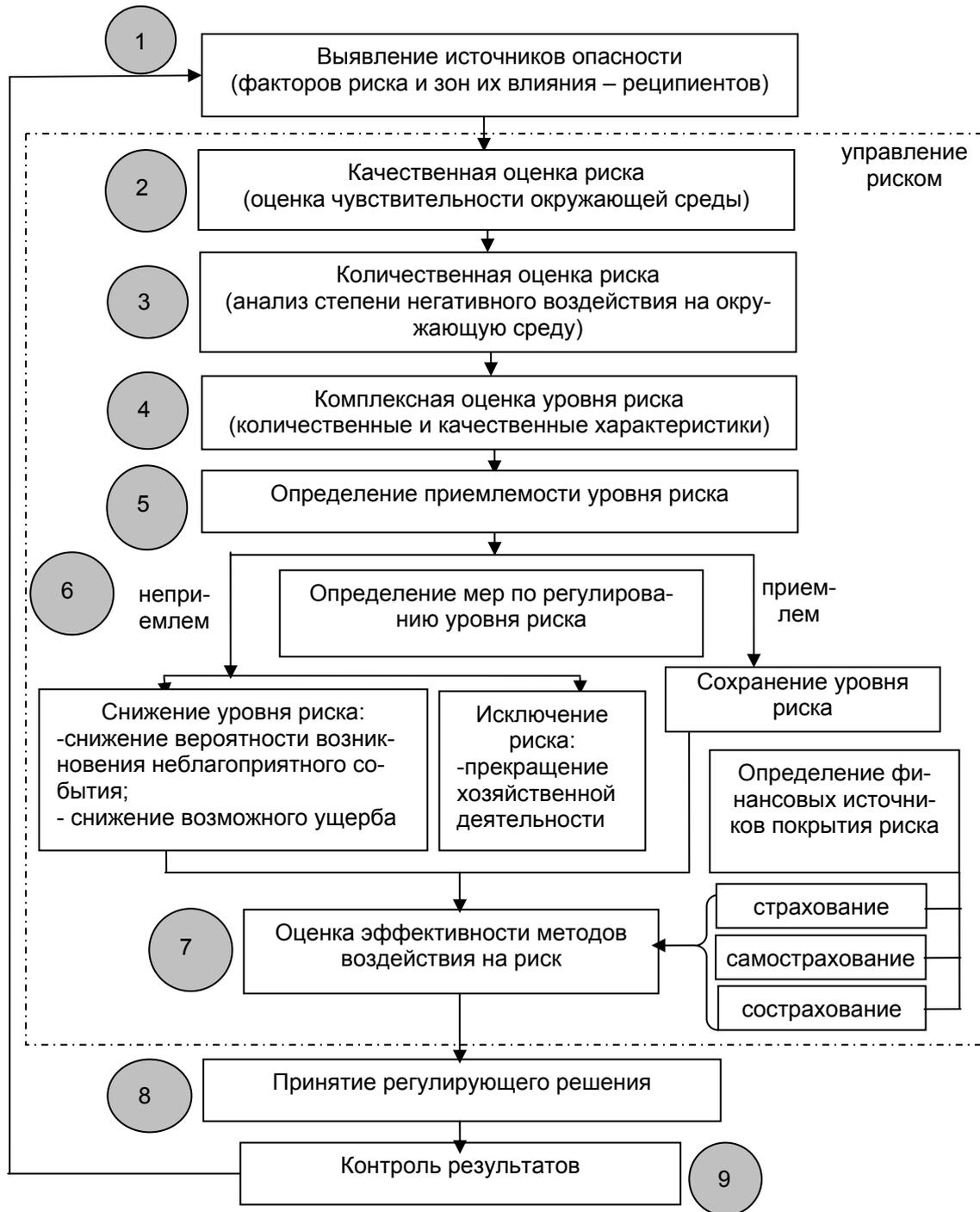


Рисунок – Система управления экологическим риском

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Международная морская организация владельцев танкеров [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.itopf.org>.

2 Буянов, В.П. Рискология (управление рисками): учеб. пособие / В.П. Буянов, К.А. Кирсанов, Л.М. Михайлов. -2-е изд., испр. и доп. -М.: Экзамен, 2003. -384 с.

3 Соловьев, В.И. Математические методы управления рисками: учеб. пособие / В.И. Соловьев; ГУУ. -М., 2003. -100 с.

4 Горелик, В.А. Управление риском в условиях неопределенности / В.А. Горелик // Упр. риском. -2010. -№ 1. -С. 11-19.

5 Назарбек, А. Оценка, анализ, измерение и управление рисками / А. Назарбек // Упр. риском. -2002. -№1. -С. 9-18.

6 Экология: учеб. пособие. -М.: Знание, 1999. -288 с.

7 Мисник, Г.А. Правовые проблемы оценки экологического риска / Г. А. Мисник // Законодательство и экономика. -2006. -№7. -С. 73-80.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** экологический риск, оценка экологического риска, система управления экологическим риском  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Полищук Евгения Александровна, аспирант ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
 Егорова Евгения Николаевна, канд. экон. 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»

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

ОАО «15 центральный авторемонтный завод»

В.П. Босяков, В.А. Романов, В.С. Кукис

### FORECASTING OF TOXIC SUBSTANCES CONTENT IN EXHAUST GAS OF CONVENTIONAL ENGINE

«Central motorcar repair plant, No. 15»

V.P. Bosyakov, V.A. Romanov, V.S. Kukis

In the article the basic approaches of mathematical simulation, a technique of construction of artificial neural networks are stated; their basic kinds and possibilities for forecasting of estimated indicators of working process of an internal combustion engine are described.

*Keywords: mathematical simulation, neural network, method of training, burnt gases toxicity*

Представлены основные подходы математического моделирования, методика построения искусственных нейронных сетей, описаны основные их виды и возможности для прогнозирования оценочных показателей рабочего процесса двигателя внутреннего сгорания.

В настоящее время к поршневым ДВС предъявляются очень высокие требования с точки зрения экологической безопасности. Выполнение этих требований при проектировании и доводке двигателя является сложной задачей. Существуют различные методики для оптимизации рабочих процессов ДВС с целью уменьшения выброса токсичных веществ (ТВ) с отработавшими газами (ОГ). Одной из таких методик можно считать метод прогнозирования содержания ТВ в ОГ с применением искусственной нейронной сети (ИНС). Метод основан на применении двух математических моделей. Первая модель создается с применением ИНС по принципу «черного ящика», то есть с помощью формального подхода, где описывается поведение объекта на основе данных об отклике системы на внешние возмущения без анализа физической сущности внутренних процессов. Вторая модель – это модель рабочего процесса на основе системы дифференциальных уравнений энергетического баланса рабочего тела создана с применением феноменологического подхода, где описано математическим языком суть явления на основе законов природы, то есть «белый ящик».

В настоящей работе использована известная математическая модель рабочего процесса [1] и однослойная линейная ИНС, которая может быть описана векторно-матричным соотношением:

$$q = W^{(K)} r_1 + w_0 r_0 = W^{(K)} r, \quad (1)$$

где  $q$  – вектор выхода,

$$q = \text{col}(q_1, \dots, q_j, \dots, q_k);$$

$r$  – вектор входа,

$$r = \text{col}(r_1, \dots, r_j, \dots, r_n);$$

$W^{(K)}$  – матрица весовых коэффициентов.

Такие сети обладают простотой и могут хорошо описать линейную закономерность.

Структура многослойной нейронной сети отличается тем, что выходы базовых элементов каждого слоя поступают на входы всех базовых элементов следующего слоя. В векторной форме выход  $i$ -го слоя сети равен

$$q_i^{(l)} = f(W_1^{(l)} q_1^{(l-1)} + w_0^{(l)} q_0^{(l-1)}), \quad (2)$$

где  $w_0^{(l)}$  – вектор весовых коэффициентов сигнала инициализации  $q_0^{(l-1)}$  в слое  $l$ ,

$$w_0^{(l)} = \text{col}(w_{1,0}^{(l)}, \dots, w_{nl,0}^{(l)});$$

$q_i^{(l)}, q_i^{(l-1)}$  – векторы выходов базовых процессорных элементов слоя  $l$  и выходов предыдущего  $(l-1)$ -го поступающих на входы базовых элементов слоя  $l$ ,

$$q_i^{(l)} = \text{col}(q_1^{(l)}, \dots, q_{nl}^{(l)}); q_i^{(l-1)} = \text{col}(q_1^{(l-1)}, \dots, q_{nl-1}^{(l-1)}).$$

Такие сети считаются универсальным инструментом для точной многократной аппроксимации непрерывных функций. Недостатком можно назвать получение множество точек экстремальных значений, из которых стандартный алгоритм обучения сеть не выводит. Настройка весовых коэффициентов всех базовых элементов сети увеличивает время обучения и уменьшает производительность сети.

Нейронные сети с радиально-базисными функциями активации Radial Basis Networks (RBFN) или кратко – RBF-сети, являются двухслойными сетями, в которых в рабочем режиме используется скрытый слой с фиксированным не линейным преобразованием вектора входа, то есть с не настраиваемыми в процессе работы весовыми коэффициентами. Этот слой осуществляет статическое отображение входных переменных в новые переменные. Второй линейный выходной, слой «взвешивает» эти переменные с настраиваемыми весами. Такие сети не имеют упомянутых недостатков МНС и рассматриваются как альтернативный вариант.

Выбор используемой структуры сети основан на эмпирических рекомендациях [2], а также опыте исследователя.

Для работы ИНС (распознавания, оптимизации, управлений и др.) необходима настройка весовых коэффициентов – такой процесс называется обучением ИНС [2].

Схематично расчетная схема ИНС представлена на рисунке.

Одним значимых регулировочных параметров, влияющих на выбросы ТВ с ОГ дизелей, момент начала впрыскивания топлива (МНВТ). Это обусловлено тем, что при уменьшении МНВТ снижаются максимальные температуры сгорания и время, отводимое на процессы окисления продуктов сгорания.

Для оптимизации рабочего процесса по МНВТ с целью снижения выбросов ТВ на дизеле 4Т371 авторами был проведен расчеты на трех режимах работы при частоте вращения 2000, 1400 и 800 мин<sup>-1</sup> и цикловой подаче топлива 60,7, 67,7 и 51,6 мг/цикл.

Для получения обучающей выборки ИНС были взяты данные испытаний дизеля 4Т371 на различных режимах работы в диапазоне 800-2000 мин<sup>-1</sup> (35 точек). Входными параметрами были выбраны частота вращения коленчатого вала двигателя, крутящий момент, часовой расход воздуха, цикловая подача топлива, максимальное давление в цилиндре, давление наддува. Параметрами выхода являлись: удельные выбросы нормированных ТВ и показатель токсичности ОГ

$$F = \frac{g_{CO} Ai_{CO}}{e_{CO}} + \frac{g_{NOx} Ai_{NOx}}{e_{NOx}} + \frac{g_{CHx} Ai_{CHx}}{e_{CHx}} + \frac{g_{PM} Ai_{PM}}{e_{PM}}, \quad (6)$$

где  $g_{CO}, g_{NOx}, g_{CHx}, g_{PM}$  – удельный выброс компонента, г/(кВт·ч);

$Ai_{CO}, Ai_{NOx}, Ai_{CHx}, Ai_{PM}$  – относительный коэффициент агрессивности компонента [3];

$e_{CO}, e_{NOx}, e_{CHx}, e_{PM}$  – предельно допустимые выбросы токсичного компонента.

Архитектура ИНС представлена в виде трехслойного персептрона каждый скрытый слой содержит 60 нейронов, в качестве оценивающего метода был применен двухэтапный квази-Ньютоновский метод. В нем вычисляются асимптотические оценки (частных) производных второго порядка функции потерь, которые затем используются для определения направления перемещения параметров от итерации к итерации. В случае, когда вторые производные

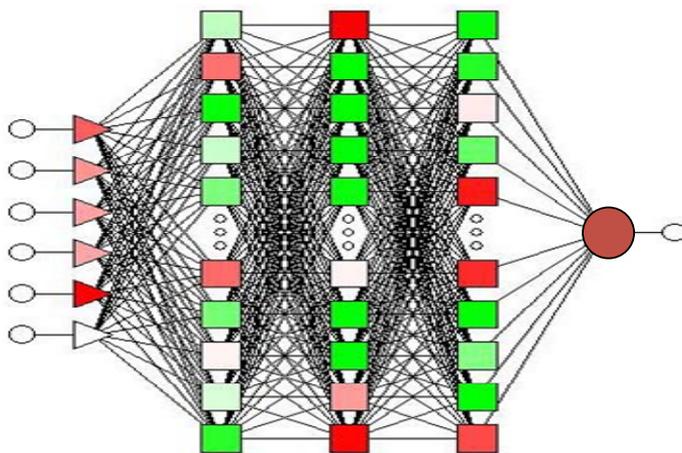


Рисунок – Структура ИНС:  $\blacktriangleright$ -параметры входа;  $\blacksquare$ -нейроны;  $\bullet$ -параметры выхода

определены (а обычно это так), этот метод обладает большой эффективностью. Метод обучения ТСП использовался «с учителем» по заранее известным данным, полученным в ходе экспериментов.

Результаты исследования показали, что наиболее сильно зависит от МНВТ эмиссия  $\text{NO}_x$ . Это обусловлено тем, что при уменьшении МНВТ уменьшаются максимальные температуры сгорания и время, отводимое на процессы окисления продуктов сгорания, что также приводит к росту содержания твердых частиц, СН и СО. Показатель токсичности  $F$  позволяет определить оптимальное значение МНВТ для данного режима.

Было установлено, что при частоте вращения коленчатого вала  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  минимальные значения  $F = 338\text{-}336 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$  имеют место при МНВТ  $21,5\text{-}23 \text{ }^\circ\text{ПКВ}$  до ВМТ;  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  МНВТ желательно увеличить до  $26\text{-}27 \text{ }^\circ\text{ПКВ}$  до ВМТ; при  $n = 800 \text{ мин}^{-1}$  оптимальным является МНВТ, равный  $16\text{-}18 \text{ }^\circ\text{ПКВ}$  до ВМТ. Дальнейшее увеличение МНВТ приводит к резкому росту  $\text{NO}_x$ , а уменьшение к росту выбросов твердых частиц и СО.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Малоземов, А.А. Математическая модель двигателя на основе системы дифференциальных уравнений энергетического и массового балансов. Повышение эффективности силовых установок колесных и гусеничных машин / А.А. Малоземов // Науч. вестн. ЧВВАКИУ. - 2006. - №18. - С. 8-15.

2 Терехов, В.А. Нейросетевые системы управления: учеб. пособие для вузов / В.А. Терехов. - М.: Высш. шк., 2002. - 183 с.

3 Марков, В.А. Токсичность отработавших газов дизелей / В.А. Марков, Р.М. Баширов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2002. - 32 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *математическое моделирование, нейронная сеть, метод обучения, токсичность отработавших газов*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Босяков Владимир Петрович, ст. инженер ОАО «15 центральный авторемонтный завод» Романов Виктор Анатольевич, канд. техн. наук, профессор, генеральный директор ОАО «15 центральный авторемонтный завод» Кукис Владимир Самойлович, докт. техн. наук, профессор, научный консультант ОАО «15 центральный авторемонтный завод»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630056, г. Новосибирск, ул. Варшавская, 1, ОАО «15 центральный авторемонтный завод»*

## ПРОБЛЕМА ОБРАЗОВАНИЯ ХЛОРФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ (НА ПРИМЕРЕ г. НОВОСИБИРСКА)

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Учреждение Российской академии наук «Институт водных и экологических проблем» СО РАН

**О.В. Спиренкова, Т.В. Носкова, Т.С. Папина**

**THE PROBLEM OF CHLORINOPHENOL COMPOUNDS FORMATION IN THE PROCESS OF DRINKING WATER PREPARATION (THE CASE STUDY OF NOVOSIBIRSK CITY)**

«Novosibirsk state academy of water transport»  
«Institute for water and environmental problems»

O.V. Spirenkova, T.V. Noskova, T.S. Papina

In work the problem of the chlorfenol pollution of potable water in the course of water-clearing is considered. On an example of water pump-filtering station №5 (Novosibirsk Center) it was shown that disinfection of potable water by sodium hypochlorite initiates the appearance of the following derivatives of phenol: 2-hlorfenol, 2,4,6- and 2,4,5-trihlorfenols.

*Keywords: pollution, phenol, chlorphenol compounds, drinking water*

Рассмотрена проблема хлорфенольного загрязнения питьевых вод в процессе водоочистки. На примере насосно-фильтровальной станции №5 г. Новосибирска показано, что при обеззараживании питьевых вод гипохлоритом натрия образуются такие хлорпроизводные фенолов как 2-хлорфенол, 2,4,6-трихлорфенол и 2,4,5-трихлорфенол.

В последние годы наблюдается устойчивая тенденция ухудшения качества воды в поверхностных водоисточниках, и причиной этого является применение на различных произ-

водствах токсичных химических веществ, устаревшего оборудования, несовершенство технологических процессов, и вода именно такого качества попадает на станции водоподготовки в городах. Такое экологическое состояние источников требует принятия особых мер для повышения надежности очистки питьевой воды. В отношении органических ингредиентов водоподготовительные станции выполняют барьерные функции в незначительной степени, и в процессе водоподготовки могут образовываться еще более опасные токсиканты.

Обеззараживание воды в основном осуществляется хлором и гипохлоритом натрия, при этом часто встречающиеся в природных водоисточниках фенолы под действием хлорсодержащих реагентов в процессе водоподготовки могут трансформироваться в более опасные соединения, например, хлорфенол и другие его хлорпроизводные, которые оказывают токсическое действие на организм человека: влияют на печень, угнетают деятельность щитовидной железы, разрушают в организме витамин А, действуют на иммунную систему [1].

Исследования, проведенные современными физико-химическими методами в США, Великобритании, Германии, Швеции [2-3], подтверждают образование токсичных хлорпроизводных при обработке хлором природных и сточных вод, содержащих органические вещества природного (гуминовые и фульвокислоты) и промышленного происхождения (ароматические и алифатические углеводороды, дифенилы, нафталин, пестициды и другие).

В России в последние годы также уделяется достаточно внимания побочным продуктам хлорирования. Одни из первых исследований уровня содержания хлорорганических соединений в питьевой воде были проведены на водозаборах г. Красноярска [4]. Результаты этой работы показали наличие в питьевой воде таких веществ, как хлороформ, трихлорэтилен, фенол, трихлорфенол. На водозаборах Ростова-на-Дону, Азова и Таганрога в питьевой воде были обнаружены токсичные летучие хлорорганические соединения, относящиеся к группе тригалогенметанов, причём хлороформ составлял около 80% от общего количества ЛГС [5]. Те же хлорорганические соединения были обнаружены в питьевой воде на Московских и Санкт-Петербургских водозаборах [6], а также на водозаборах Хабаровска [7], Уфы [8] и всего Приволжского федерального округа [9]. Таким образом, исследования питьевой воды по всей стране показали наличие в ней токсичных хлорпроизводных соединений.

Актуальность проблемы получения качественной питьевой воды становится острее год от года, поэтому целью настоящей работы является изучение хлорфенольного загрязнения на всех стадиях водоподготовки и выявление наиболее неблагоприятных условий, способствующих появлению высоких концентраций хлорфенолов. В связи с этим была поставлена задача проанализировать пробы воды после каждой из ступеней очистки, и на примере насосно-фильтровальной станции №5 г. Новосибирска выяснить, на какой стадии и в каких количествах появляются хлорфенольные соединения.

Водозабор № 5 г. Новосибирска расположен на правом берегу р. Обь, в 694 км ниже слияния рек Катунь и Бии, в нижнем бьефе водохранилища Новосибирской ГЭС (рисунок 1).

Расстояние от плотины до водозабора 12,5 км. Вода из реки Обь поступает в ковш, затем в водоприёмный колодец, проходя через сороудерживающие решётки и вращающиеся сетки. От насосной станции I-го подъёма по четырём напорным водоводам вода подаётся на



Рисунок 1 – Карта-схема расположения НФС-5

водопроводные очистные сооружения НФС-5. Первичное хлорирование производится в напорных водоводах насосной станции первого подъема перед поступлением в смеситель. На блоке очистных сооружений вода поступает в смеситель, где происходит смешение с реагентами, далее через встроенные камеры хлопьеобразования и горизонтальные отстойники, осветлённая вода проходит доочистку на скорых фильтрах загруженных кварцевым песком или альбитофиром. После чего происходит вторичное хлорирование в сборных коллекторах фильтрата, где вода обеззараживается до требуемых нормативов и выдерживается не менее 30 минут в резервуарах чистой воды, а затем насосной станцией 2-го подъёма в водоводы и разводящие сети города.

Пробы воды на станции отбирали с декабря 2009 года по сентябрь 2010 года, в задачи входило охватить все гидрологические периоды реки Обь. Таким образом, первый отбор проводили 12 декабря 2009 года, следующий – 6 апреля 2010 года, затем 21 мая, и далее 25 июня и 24 сентября 2010 года. Пробы отбирали в стеклянные бутылки, предварительно сполоснутые отбираемой водой, и консервировали раствором NaOH. Отбор проб воды проводили после каждой ступени очистки (всего пять проб): 1-из реки, 2-после смесителя, 3-после отстойников, 4-после фильтров, 5-после резервуара чистой воды, то есть та вода, которая поступает в сеть водопользователям (рисунок 2).

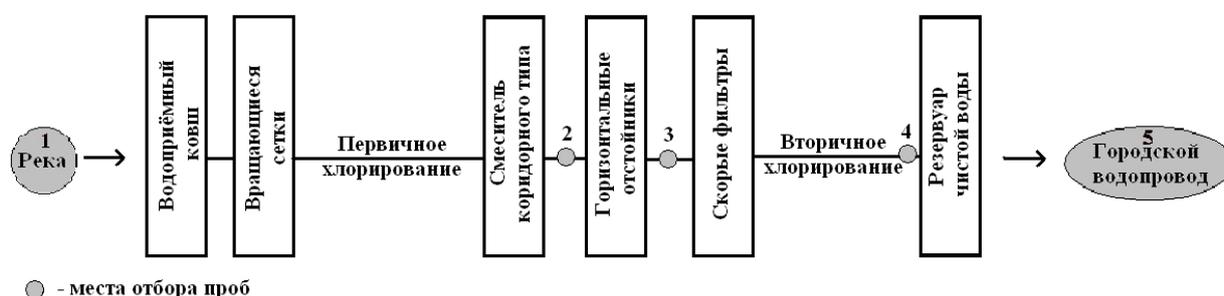


Рисунок 2 – Схема очистных сооружений насосно-фильтровальной станции №5 г. Новосибирска

Определение хлорированных фенолов в пробах воды проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе HPLC-10 Avр, фирмы Shimadzu со спектрофотометрическим детектором. Для этого отфильтрованную через бумажный фильтр «Синяя лента» пробу объёмом 500 мл с помощью перистальтического насоса со скоростью 4 мл/мин. пропускали через патрон Диапак П фирмы ЗАО «Биохиммак СТ». Аналитическая колонка Supelco Discovery C18, 5 мкм, элюент ацетонитрил: 1% раствор уксусной кислоты, градиентный режим 35-100% ацетонитрила, pH 3,0±0,2.

Определяли следующие фенольные соединения: фенол, 2-хлорфенол, 2,6-дихлорфенол, 2,5-дихлорфенол, 2,4,6-трихлорфенол, 2,4,5-трихлорфенол и пентахлорфенол. На рисунке 3 приведены средние значения концентрации фенола, 2-хлорфенола, 2,6-дихлорфенола, 2,4,6-трихлорфенола и 2,4,5-трихлорфенола на каждой стадии водоочистки за весь период наблюдения.

Из рисунка видно, что концентрация фенола в воде после первичного и вторичного хлорирования несколько падает, но при прохождении через отстойники и резервуар чистой воды его концентрация вновь увеличивается до прежнего уровня.

Концентрация 2-хлорфенола возрастает после первичного хлорирования, затем чуть уменьшается после скорых фильтров, но опять увеличивается в резервуаре чистой воды после вторичного хлорирования и перед поступлением в сеть. В целом за время водоподготовки концентрация 2-хлорфенола увеличивается в 3 раза – с 0,24 мкг/л (средняя концентрация в реке) до 0,72 мкг/л.

Концентрация 2,6-дихлорфенола после первичного хлорирования увеличивается, а после фильтров начинает падать. В итоге после вторичного хлорирования в сеть поступает вода почти с той же концентрацией 2,6-дихлорфенола, что была в реке.

Концентрация 2,4,6-трихлорфенола в реке была ниже предела обнаружения (менее 0,1 мкг/л), но после первичного хлорирования его концентрация возрастает до 0,3 , а после резервуара чистой воды в сеть поступает вода с концентрацией 0,08 мкг/л.

После первичного хлорирования концентрация 2,4,5-трихлорфенола сначала немного увеличивается, после отстойников и фильтров незначительно снижается, но в воде, прошедшей вторичное хлорирование, поступающей в сеть, концентрация его вновь увеличива-

ется и достигает 0,12 мкг/л.

Концентрации 2,5-дихлорфенола и пентахлорфенола на всех стадиях водоподготовки были менее 0,1 мкг/л. Суммарное содержание летучих фенолов (фенольный индекс), определяемых по методике [10], на всех стадиях водоподготовки оставалось практически постоянным и определялось исходным их содержанием в реке, которое в зависимости от даты отбора варьировало в интервале 0,8-2,5 мкг/л.

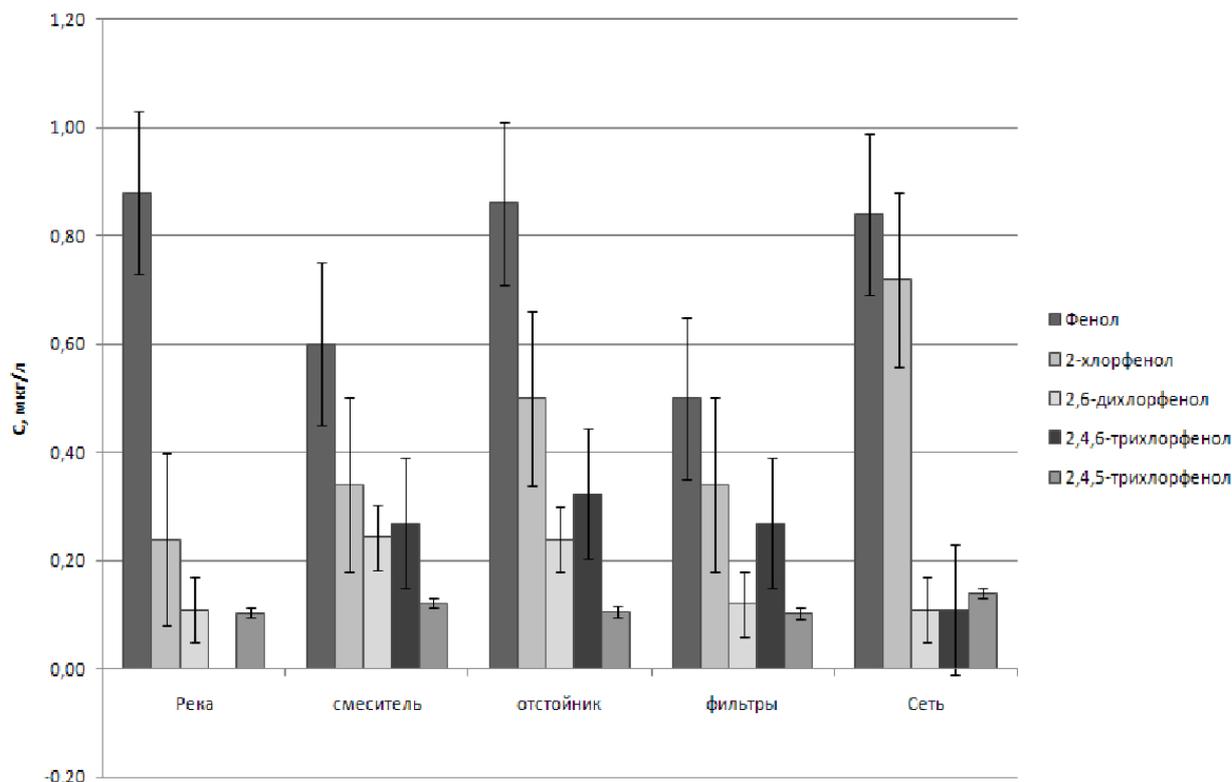


Рисунок 3 – Средние концентрации веществ после каждой ступени очистки за период декабрь 2009-сентябрь 2010 года (указан доверительный интервал среднего)

Таким образом, очистные сооружения г. Новосибирска при использовании традиционной схемы подготовки питьевой воды не создают надежного барьера для попадания фенола и других его летучих соединений, определяемых по фенольному индексу, в питьевую воду. Кроме того, обеззараживание подаваемой потребителям воды гипохлоритом натрия способствует образованию в ней дополнительно таких иммунотоксичных и канцерогенных веществ, как 2-хлорфенол, 2,4,6-трихлорфенол и 2,4,5-трихлорфенол.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что задача по исключению возможности образования хлорорганических соединений в процессе подготовки питьевой воды может быть решена наиболее эффективно посредством сокращения содержания органических соединений в исходной воде за счет предварительной ее очистки до ввода в нее хлора, либо исключения из схемы подготовки питьевой воды использования хлора и хлорсодержащих реагентов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Грушко, Я.Н. Вредные органические соединения в промышленных сточных водах: справочник / Я.Н. Грушко. -Л.: Химия, 1982.
- 2 Babcock, D.B., Singer, P.C. // J. AWWA. -1979. -№3. -P. 149-152.
- 3 Jan, J., Tratnik, M. // Bull. Environ. Coutam. and Toxicol. -1988. -№6. -P. 809-814.
- 4 Ефремов, А.А. Эколого-химическая безопасность питьевой воды промышленных городов России: состояние и перспективы / А.А. Ефремов // Химия растит. сырья. -1998. -№3. -С. 75-81.
- 5 Влияние обработки донской воды хлорреагентами на образование летучих хлорорганических соединений / Д.Д. Педашенко [и др.] // Водоснабжение и санитар. техника. -2009. -

№9. -С. 58-62.

6 Алексеева, Л.П. Снижение концентрации хлорорганических соединений, образующихся в процессе подготовки питьевой воды / Л.П. Алексеева // Водоснабжение и санитар. техника. -2009. -№9. -С. 27-34.

7 Панина, Л.С. Контроль качества воды источника водоснабжения с трансграничным загрязнением / Л.С. Панина // Водоснабжение и санитар. техника. -2007. -№6, ч.2. -С. 21-24.

8 Многобарьерная защита водопроводной воды в г. Уфе / Л.А. Кантор [и др.] // Водоснабжение и санитар. техника. -2008. -№3, ч.2. -С. 24-25.

9 Комплексный подход к обеззараживанию воды на предприятиях ВКХ Поволжского федерального округа / А.К. Стрелков [и др.] // Водоснабжение и санитар. техника. -2008. -№ 4. -С. 30-34.

10 ПНД Ф 14.1:2:4.182-02. Методика выполнения измерений массовой концентрации фенолов в пробах питьевых, природных и сточных вод флюориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02».

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *загрязнение, фенол, хлорфенольные соединения, питьевая вода*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Спиренкова Ольга Владимировна, ассистент ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
 Носкова Татьяна Витальевна, инженер ИВЭП СО РАН  
 Папина Татьяна Савельевна, докт. хим. наук, начальник центра ИВЭП СО РАН*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»  
 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1, ИВЭП СО РАН*

## **ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ НА СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, НА ПРИМЕРЕ г. НОВОСИБИРСКА**

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

**М.Ю. Сидорова**

**URBAN TERRITORY INFLUENCE TO THE WATER FACILITIES STATE ASSESMENT, ON EXAMPLE OF NOVOSIBIRSK CITY**  
 «Novosibirsk state academy of water transport»  
 M.Yu. Sidorova

The paper described qualitative and quantitative water features of small rivers that flow in the Novosibirsk city. Also analyzed their surface flow influence to the Ob river water state.

*Keywords: small rivers, surface flow*

Представлена качественная и количественная оценка вод малых рек города Новосибирска, а также проведен анализ влияния их поверхностных стоков на состояние воды реки Оби.

Рекой принято считать постоянно действующий водоток, функционирующий круглый год либо пересыхающий или перемерзающий на очень короткий период и не каждый год. В Российской Федерации применяются два количественных критерия для классификации равнинных рек на малые, средние и большие – длина реки и площадь водосбора. В качестве количественного критерия принята площадь водосбора, и к «малым» относятся реки с водосбором не более 2000 км<sup>2</sup>, имеющие длину не более 100 км. Несмотря на такие количественные критерии, малые реки являются начальным звеном всей речной сети, а все изменения в их речном режиме непременно отражаются во всей гидрографической цепи. В данной работе была поставлена цель: оценить состав вод в малых реках города и влияние на них техногенной урбанизированной городской территории, а также проследить влияние города на реку Обь посредством малых рек.

Одной из особенностей малых рек является ярко выраженная зависимость водности, гидрологического режима и качества воды от состояния поверхности водосбора, значение которого в ряде случаев бывает важнее климатических и погодных факторов, из-за чего гидрологические и гидрохимические показатели малых рек могут резко отличаться от среднестатистических зональных и районных, которые учитываются при проектировании различных природо-водоохраных мероприятий.

На малых реках и водоемах последствия загрязнения видны раньше и резче, чем на средних и крупных. В сложившейся практике малые реки, протекающие через крупные про-

мышленные районы с высокой плотностью населения, служат приемником сточных вод от предприятий коммунального хозяйства, транспорта и других источников загрязнения. От качества воды малых рек зависит состояние более крупных рек и водоемов. Хорошим наглядным примером является город Новосибирск. В черте города протекают две большие реки Обь и Иня и семь малых рек (Тула, Нижняя Ельцовка, Каменка, Ельцовка-1, Ельцовка-2, Плющиха, Камышенка). Общая протяженность водотоков в пределах городской черты составляет 125 км. Все реки кроме Каменки и Ельцовки-1 протекают по открытому руслу, вышеупомянутые реки на значительном протяжении русла заключены в коллекторные системы и служат водоприемниками поверхностного стока города.

Малые реки Новосибирска существенно различаются между собой по геоморфологическим и гидрологическим характеристикам. Их сток и его загрязнение водорастворимыми и взвешенными веществами зависят от многих факторов, в том числе от климатических условий, санитарного состояния и особенностей формирования водосбора.

Гидрохимический сток большинства рек формируется за счет загрязняющих веществ, содержащихся в твердых и водорастворимых формах, а также растворенных в грунтовых водах, в промышленных и коммунальных стоках, поступающих с территорий жилой застройки, транспортных магистралей, промышленных предприятий районов города по которым протекают реки.

Для вод малых рек города Новосибирска, характерно загрязнение взвешенными веществами, нефтепродуктами и другими органическими соединениями (по биологическому потреблению кислорода – БПК), поверхностно-активными веществами (СПАВ) и солями тяжелых металлов. Значения коэффициента комплексного загрязнения вод находятся в пределах от 25,0 до 50,0% и свидетельствуют о загрязнении воды по нескольким показателям. Наблюдается постоянная загрязненность вод по БПК<sub>5</sub>, аммонийному и нитритному азоту, железу общему и нефтепродуктам, и периодическая по фенолам и магнию, ртути и другим тяжелым металлам. Наибольшую долю в общую степень загрязненности воды вносят сероводород, легкоокисляемая органика, аммонийный нитритный азот, нефтепродукты.

Большая часть (от 50 до 99%) органических и минеральных веществ, содержащихся в речных водах, мигрируют в составе нерастворимых в воде органоминеральных и минеральных взвесей с диаметром частиц до 10 мкм. Они поступают в реку с техногенно-загрязненных территорий водосбора и содержат большие количества тяжелых металлов.

Следует отметить, что воды малых рек Новосибирска имеют нейтральную или слабощелочную реакцию среды, а находящиеся в них ионы  $Fe^{3+}$  и  $Al^{3+}$  могут полностью осаждаться в форме гидроксидов (рН осаждения гидроокислов металлов выше 4,1 и 5,2 соответственно) и захватывать  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  и  $Cd^{2+}$ . Ионы  $Cu^{2+}$  – способны образовывать комплексные соединения с присутствующими в водах аммиачными и пирофосфатными ионами, органическими и органоминеральными веществами, гидроксидами Fe, Al, Mn, а ионы  $Cr^{3+}$  – даже с такими анионами, как  $SO_4^{2-}$  и  $OH^-$ . В результате образования нерастворимых в воде химических соединений и абсорбции катионов и анионов химических элементов коллоидными (менее 0,1 мкм), илистыми (менее 1 мкм) и глинистыми менее 10 мкм) частицами, а также биогенной аккумуляции элементов речной флорой и фауной воды очищаются от многих из них.

В городе практически отсутствуют очистные сооружения для поверхностного стока, поэтому более 95% его сбрасывается в водные объекты без очистки. Особую роль поверхностный сток играет в водном балансе малых рек Новосибирска, где на его долю приходится около 77%, а на стоки производственные и хозяйственно-бытовые – 14% и 9% соответственно.

Через малые реки в Обь поступает большая часть (2/3) стока поверхностных вод, формирующегося на территории города (таблица), так как суммарная площадь водосборов малых рек в 2 раза больше, чем у реки Обь.

Оценка вклада загрязняющих веществ, выносимых с территории Новосибирска малыми реками и рекой Иней, стекающих с обского лево- и правобережья, свидетельствует о том, что, несмотря на высокое загрязнение вод малых рек, их общий вклад в стоке Оби невелик, за исключением хлора.

Доля поступления хлоридов с поверхностным стоком малых рек равна 17% от общего стока загрязняющих веществ реки Оби, а общий сток с учетом лево- и правобережья Оби и реки Ини составляет 33,5%.

Таблица – Объемы поверхностного стока в реки с территории г. Новосибирска, тыс. м<sup>3</sup>/га

Реки	Дождевой сток	Талый сток	Поливомоечный сток	Суммарный сток
Обь (левый берег)	2391	938	523	
Обь (правый берег)	2249	882	492	
Обь (всего)	4640	1820	1016	7476
Иня	718	282	157	1156
Ельцовка-1	1676	657	367	
Ельцовка -2	1668	654	365	
Тула	1627	638	356	
Плющиха	1271	499	278	
Каменка	1736	681	380	
Нижняя Ельцовка	658	258	144	
Малые реки (всего)	8635	3387	1890	13913
Все реки	13993	5489	3063	22545

Столь незначительное влияние Новосибирска на гидрохимический сток реки Оби можно объяснить, прежде всего, незначительным суммарным объемом стока вод, стекающих с территории города, который составляет 0,04% от стока Оби, протекающей через город. Из представленных данных следует, что основная масса загрязняющих веществ, образуемых в Новосибирске, остается на его территории, аккумулируясь в почвах, в долинах, поймах, донных отложениях малых рек и т.д. Только ионы хлора, обладающие высокой миграционной способностью, активно выносятся с территории города, загрязняя реку Обь.

Проведенные расчеты вклада водного стока загрязняющих веществ с территории Новосибирска только по одному параметру хлору, совпадают с данными изменения концентрации загрязняющих компонентов в водах Оби, протекающих через город от плотины до городских очистных сооружений и далее.

По другим компонентам расчетная оценка влияния Новосибирска на протекающие через него воды Оби существенно отличается от оценки изменения (в процентах) содержания в ней загрязняющих компонентов, относительно их количества в водах Оби в районе ГЭС (по данным анализа вод отобранных на гидропостах в течение 2005-2008 гг).

Данная ситуация говорит, с одной стороны, о заметном постоянном влиянии Новосибирска по увеличению содержания в водах (на отрезке течения Оби от ГЭС до очистных сооружений) таких компонентов как сухой остаток, нефтепродукты, нитраты, сульфаты, хлориды, фосфаты, фториды, железо и марганец. С другой стороны, анализы свидетельствуют, что в отдельные годы среднегодовое содержание в водах рассматриваемого отрезка Оби взвешенных веществ, аммония, алюминия то существенно снижается (2006 г), то сильно возрастает (2008 г.). Соответственно снижается или возрастает и вынос этих веществ водами Оби.

Варьирование концентраций загрязняющих веществ в водах и их массы, поступающих с водосбора в районе Новосибирска, зависят от многих факторов. Во-первых, от периодических изменений гидрологических условий года, интенсивности снеготаяния и ливневых дождей, усиливающих или снижающих водную эрозию поверхности водосбора и снос с неё загрязняющих веществ, а также их поступление в воды из донных отложений реки. Во-вторых, от хозяйственной деятельности не только на водосборе, но и в долине, пойме и русле Оби. В-третьих, связано с несанкционированными и аварийными сбросами загрязняющих веществ непосредственно в Обь.

Расчетные данные показывают, что среднегодовой общий поверхностный сток загрязняющих веществ, поступающий с территории города Новосибирска в реку Обь равен – 51,4 млн. т в год. За проанализированный период с 2005 по 2008 годы, именно в последний год произошло самое значительное загрязнение обских вод. Если исключить ошибки лабораторных анализов состава вод, то произошедшее резкое усиление загрязнения вод Оби, скорее всего, было обусловлено действием комплекса выше перечисленных факторов, оказавших существенное влияние на качество речных вод.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** малые реки, поверхностный сток  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Сидорова Мария Юрьевна, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «НГавт»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

<b>Г.И .Бурдакова</b> ФОРМИРОВАНИЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА В ПРОМЫШЛЕННОМ ЦЕНТРЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА.....	3
<b>В.И .Рагулин</b> ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ ЗАВОЗА ГРУЗОВ НА УГЛЕВОДОРОДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ .....	6
<b>А.П .Дементьев</b> МАТЕРИАЛЬНОЕ СТИМУЛИРОВАНИЕ ТРУДА НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВАГОННЫХ ДЕПО .....	8
<b>Е.Н .Жирков</b> ПОЛИТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПРИ ВСТУПЛЕНИИ РОССИИ В ВСЕМИРНУЮ ТОРГОВУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ .....	12
<b>А.О .Самбур</b> МИРОВАЯ ПРАКТИКА ПОДДЕРЖКИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ И СУДОВЛАДЕЛЬЦЕВ .....	15
<b>М.П .Панина</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПАССАЖИРСКОГО КОМПЛЕКСА ДАЛЬНЕГО СЛЕДОВАНИЯ .....	21
<b>М.О .Северова</b> ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА .....	24
<b>С.П .Кретов</b> СИСТЕМА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ КАК ФАКТОР ЕГО ЭФФЕКТИВНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ.....	26
<b>А.П .Дементьев, Л.Н .Аршба</b> МАТРИЦА КОРПОРАТИВНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ КАК ОСНОВА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ (ИНДИВИДУАЛЬНЫХ) ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ .....	30
<b>Т.В .Андранович, М.О .Северова</b> ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ .....	32
<b>Т.В .Андранович</b> ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ДЛЯ РАСЧЕТА УДЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА.....	35
<b>М.М .Рассказова, Е.А .Сурикова</b> МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ МОБИЛЬНОГО БЮДЖЕТА ДЛЯ ХОЗЯЙСТВ ИНФРАСТРУКТУРЫ .....	38
<b>А.А .Прудников</b> К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМИЗАЦИИ РАСХОДОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВАГОННЫХ ДЕПО.....	40
<b>А.П .Буйносов, В.А .Тихонов</b> РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ .....	43
<b>С.В .Помахо, А.Ж .Смирнов, В.И .Меньшиков</b> РОЛЬ КОРПОРАТИВНОЙ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПЕРСОНАЛОМ КОМПАНИИ.....	46
<b>Т.В .Иванова, Д.Г .Налабордин</b> ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКАЗОВ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В МЕЖРЕМОНТНЫХ ПЕРИОДАХ НА ОСНОВЕ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ .....	48

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

<b>С.А .Ларионов</b> ХАРАКТЕРИСТИКА СХЕМ ЗАВОЗА ГРУЗОВ В РЕСПУБЛИКУ САХА (ЯКУТИЯ) .....	52
<b>С.А .Ларионов, С.В .Бунташова</b> ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ В СЕВЕРНЫЕ РАЙОНЫ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) .....	55
<b>А.В .Степанец, И.А .Степанец, В.Е .Верютина</b> МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПОТРЕБНОСТИ ПОРТА В ДОКЕРАХ-МЕХАНИЗАТОРАХ.....	58
<b>Н.В .Злобина</b> МЕХАНИЗМ ПОСТОЯННОГО УЛУЧШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ОРГАНИЗАЦИИ .....	62
<b>В.А .Ерофеева, С.А .Новосельская</b> ФОРМИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРУКТУРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ОАО «РЖД».....	65
<b>Э.В .Злобин</b> ПРИНЦИПЫ, МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ ПОСТОЯННОГО УЛУЧШЕНИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ.....	70
<b>Р.У .Амираев</b> АРКТИЧЕСКИЕ АМБИЦИИ НАТО .....	73
 <b>ПУТЬ .ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО</b>	
<b>Г.И .Бурдакова, М.А .Дмитриева</b> НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ДОРОЖНОЙ СЕТИ И ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА В ГОРОДАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА .....	80
<b>В.А .Хмелев</b> ДИНАМИКА РЕЧНОГО ПОТОКА НА ПОВОРОТЕ В АСПЕКТЕ ЛОКАЛЬНЫХ БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ.....	82
<b>А.Ю .Кузнецов, К.В .Пичугин, С.В .Ивашкин, Ю.В .Демин, Е.Г .Алаев, Н.А .Сычева</b> МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ ПОДЗЕМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОПОР НА ОТТЯЖКАХ .....	86
<b>А.Ю .Кузнецов, Б.В .Палагушкин, Ю.В .Демин, К.В .Пичугин, С.В .Ивашкин, Н.А .Сычева, Е.Г .Алаев</b> РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ И ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ КОРРОЗИИ УЗЛА КРЕПЛЕНИЯ ОТТЯЖЕК ОПОР .....	89
<b>Т.В .Пилипенко, Т.Н .Михайлова</b> ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ р .ОБЬ НА УЧАСТКЕ НИЖНЕГО БЬЕФА НОВОСИБИРСКОЙ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ.....	91
<b>В.А .Седых, А.Ю .Лапай</b> О НЕОБХОДИМОСТИ РАССМОТРЕНИЯ ВОПРОСА ОБ ИЗМЕНЕНИИ ОТМЕТОК ПРОЕКТНОГО УРОВНЯ ВОДЫ НА р .ОБЬ НИЖЕ НОВОСИБИРСКОЙ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ .....	94
<b>Т.В .Пилипенко, Т.Н .Михайлова</b> АНАЛИЗ ПРИЧИН КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ПОЛОВОДЬЯ НА р .ОБЬ В РАЙОНЕ г .НОВОСИБИРСКА В 2010 г .И ВОЗМОЖНОЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ МАКСИМАЛЬНЫХ ПОЛОВОДИЙ В БУДУЩЕМ .....	98
<b>В.А .Седых, А.Ю .Лапай</b> ОБ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ОТМЕТОК ПРОЕКТНОГО УРОВНЯ ВОДЫ НА ВЕРХНЕЙ ОБИ И ЕЁ ПРИТОКАХ .....	100

## СУДОВОЖДЕНИЕ

<b>В.В .Ишков, В.Л .Душин, В.И .Меньшиков</b> ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ЗАДАННЫХ ПОТЕРЯХ.....	105
<b>А.А .Дыда, Е.П .Чинчукова, С.А .Воробьева</b> ПОСТРОЕНИЕ РОБАСТНО-УСТОЙЧИВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КУРСОМ СУДНА.....	107
<b>А.А .Дыда, Е.А .Константинова</b> НЕЙРОСЕТЕВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИКИ МОРСКИХ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ .....	111
<b>М.Э .Францев</b> СПОСОБ ПРОЕКТНОГО УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ДОМИНИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СУДНА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	115
<b>А.А .Дыда, Е.П .Чинчукова, М.В .Шевченко</b> ПРИМЕНЕНИЕ СТЕПЕННЫХ РЯДОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КУРСОМ СУДНА .....	121
<b>Ю.А .Комаровский</b> УТОЧНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЛИПСА ПОГРЕШНОСТЕЙ КООРДИНАТ GPS- ПРИЁМНИКА .....	124
<b>А.Н .Никулин</b> ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОЙ МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ НАСЫЩЕННОСТИ УЧАСТКА ВОДНОГО ПУТИ НАВИГАЦИОННЫМИ ЗНАКАМИ .....	128
<b>Р.У .Амираев</b> АРКТИЧЕСКОЕ СУДОХОДСТВО В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ .....	131

## ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

<b>С.В .Викулов</b> ИНФОРМАТИВНОСТЬ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СПЕКТРОГРАММЫ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВАЛОПРОВОДА СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК .....	137
<b>С.В .Викулов</b> ТОРСИОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛИКОНОВОГО ДЕМПФЕРА ВАЛОПРОВОДА СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.....	140
<b>В.П .Пушнин</b> ОБРАЗОВАНИЕ ПРОЧНОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ АГРЕГАТАМИ ДИЗЕЛЬНОЙ САЖИ ТЯЖЕЛЫХ ТОПЛИВ .....	141
<b>Н.В .Малых, В.А .Мухин, А.Л .Манакон, В.М .Пшеницын, Б.О .Лебедев, Г.А .Долгополов</b> НОВЫЙ ЭТАП В ИССЛЕДОВАНИИ ВОДОТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ .....	145
<b>Г.А .Долгополов, Б.О .Лебедев, Ф.Н .Сторожев</b> ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ТОПЛИВА .....	147
<b>Г.А .Долгополов</b> ОЦЕНКА КАВИТАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЖИДКОСТИ.....	149
<b>Г.П .Кича, А.В .Надежкин, Н.К .Пак</b> ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ СЕПАРИРОВАНИЯ МОТОРНОГО МАСЛА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ МЕТОДАМИ ВАРИАЦИОННОГО ИСЧИСЛЕНИЯ .....	150

<b>Г.А .Гаук</b> ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПРИМЕНЯЕМЫХ ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И УГАРА МОТОРНОГО МАСЛА НА ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ЕГО СТАРЕНИЯ В ДИЗЕЛЕ С ВЫСОКИМ НАДДУВОМ .....	157
<b>Г.В .Кузнецов, В.Ю .Половников</b> РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ СИСТЕМ ТРАНСПОРТИРОВКИ ТЕПЛА .....	162
<b>П.А .Бимбереков</b> ВЫБОР НАЧАЛА НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ В СТРУКТУРЕ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА.....	166
<b>Г.В .Шувалов</b> ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЦИЗИОННОСТИ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СУДОВЫХ ТОПЛИВ .....	171
<b>М.Ф .Шагеев, Э.М .Хайриева</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОТОПЛИВНОЙ ЭМУЛЬСИИ КАК МЕТОД ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ .....	174
<b>В.Н .Кучеров, М.В .Флорианская</b> ТЕПЛОВАЯ НАПРЯЖЁННОСТЬ ЦИЛИНДРОВОЙ ВТУЛКИ ДИЗЕЛЯ ZH40/48 В ПОЯСЕ ПРОДУВОЧНЫХ ОКОН.....	176
<b>А.Ф .Вербиллов, С.А .Коростелев</b> ВЛИЯНИЕ УГЛОВОЙ И РАДИАЛЬНОЙ ЖЕСТКОСТЕЙ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ШАРНИРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ НА ЕГО ДИНАМИЧЕСКУЮ НАГРУЖЕННОСТЬ.....	180
<b>А.В .Семенюк, С.А .Гармаш</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ МОРСКОГО ГАЗОВОЗА.....	183
<b>Г.В .Шувалов</b> НОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СУДОВЫМ ТОПЛИВАМ ПО ГОСТ Р 54299-2010 «СУДОВЫЕ ТОПЛИВА .ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ» И МЕТОДЫ ИХ ИСПЫТАНИЙ.....	186
<b>К.Н .Ефимов, В.В .Маницын</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТОПЛИВОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ГЛАВНЫХ ДИЗЕЛЕЙ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ .....	189
<b>Н.Н .Таращан</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ В ДИЗЕЛЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ МОТОРНОГО МАСЛА КОМБИНИРОВАННОЙ ФИЛЬТРОВАНИЕМ .....	191
<b>Г.В .Медведев, А.А .Новоселов, А.А .Мельберт</b> ВЛИЯНИЕ ПОДАЧИ СПЕЦИАЛЬНОГО РАСТВОРА НА ВПУСКЕ В НЕЙТРАЛИЗАТОР НА КАЧЕСТВО ОЧИСТКИ ГАЗОВ ДИЗЕЛЯ.....	196
<b>А.Г .Батухтин</b> ОСОБЕННОСТИ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ .....	198
<b>А.В .Калугин, А.Г .Батухтин, И.Ю .Батухтина</b> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ .....	201
<b>А.В .Алексеев</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ПРОФИЛЯ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ЛОПАСТЕЙ РОТОРА НА ВЕЛИЧИНУ ПОТРЕБНОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ЕГО ВРАЩЕНИЯ .....	203
<b>А.Е .Цаплин</b> ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА .....	208

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

<b>Д.В .Романов, В.С .Кукис, А.А .Малоземов</b> УЛУЧШЕНИЕ ПУСКОВЫХ КАЧЕСТВ ДИЗЕЛЕЙ РАЗМЕРНОСТЬЮ 13/14.....	211
<b>В.В .Руднев, И.А .Харенко</b> КОНЦЕПЦИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В ТРАНСПОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ .....	215
<b>Н.С .Инкижинов</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ ЯДРА СЕЧЕНИЯ ДЛЯ СТЕРЖНЯ С КРУГЛОЙ ЧАСТЬЮ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ .....	218
<b>А.В .Дмитренко, А.Н .Рожков</b> ВАРИАНТЫ ПРОПУСКА ПОЕЗДОВ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ И ЗАТРУДНЕНИЯХ В ДВИЖЕНИИ НА ДВУХПУТНЫХ ЛИНИЯХ.....	221
<b>В.Н .Аникеев, О.А .Малаенко</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОВОДЯЩЕЙ РЕЗИНЫ, УСИЛЕННОЙ ПЕЧНЫМ УГЛЕРОДОМ.....	224
<b>П.А .Бимбереков, А.А .Щученко</b> СТРУКТУРА ТАНКЕРНОГО ФЛОТА В РЕГИОНЕ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО ФИЛИАЛА РОССИЙСКОГО РЕЧНОГО РЕГИСТРА И ПРОБЛЕМА ЕГО СООТВЕТСТВИЯ НОВЫМ ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.....	226
<b>ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА</b>	
<b>Е.Н .Фролкин, А.Г .Овсянников</b> КООРДИНАЦИЯ РАЗРЯДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОНЫ РЕМОНТНЫХ РАБОТ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ С АТМОСФЕРНЫМИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯМИ.....	230
<b>В.П .Горелов, В.В .Горелов, П.А .Дзюба, Н.А .Духновский, Е.Н .Фролкин, Д.А .Шкитов</b> ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОГО И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОГО БЕТОНОВ .....	233
<b>А.В .Плакс, Д.О .Раджибаев, Х.М .Турсунов</b> НОВЫЙ ПАССАЖИРСКИЙ ЭЛЕКТРОВОЗ СЕРИИ «O'Z-Y».....	237
<b>С.А .Ступаков, В.М .Филиппов, Т.В .Охрименко</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА КОНТАКТНЫХ ПАР УСТРОЙСТВ ТОКОСЪЕМА МОНОРЕЛЬСОВОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА.....	240
<b>Н.К .Ефимов, А.И .Елшин, С.Л .Собин, С.С .Прудников, М.А .Дмитриева</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ).....	244
<b>К.И .Никитин</b> АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ И МЕСТА ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ.....	247
<b>С.М .Асосков, Ю.М .Денчик, Е.В .Иванова, Д.С .Кудряшов, Д.А .Шкитов</b> УСЛОВИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ СЕТЕЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ КАК РЕЦЕПТОРОВ .....	250
<b>Г.Ю .Севастьянов</b> ПОДЪЕМ КОНТАКТНЫХ ПРОВОДОВ ТОКОПРИЕМНИКОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ ВЕТРОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ТОКОСЪЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА.....	253
<b>Т.Г .Красильникова</b> ИСКЛЮЧЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ НЕПОЛНОФАЗНЫХ РЕЖИМАХ В ЧЕТЫРЁХФАЗНЫХ ЛИНИЯХ С ПОМОЩЬЮ КОМБИНИРОВАННОЙ КОМПЕНСАЦИИ .....	256

<b>В.М .Тихомиров, Д.В .Величко, К.Ю .Лыков</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ УПРУГИХ КЛЕММ КН.....	260
<b>В.А .Васильев</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПОВЫШАЮЩИМ ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ ПРИ ПИТАНИИ ОТ ЕМКОСТНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ .....	263
<b>С.Л .Собин, А.И .Елшин, С.С .Прудников</b> РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ТЕПЛООБМЕННИКЕ ИНДУКТИВНО- КОНДУКТИВНОГО НАГРЕВАТЕЛЯ .....	266
<b>Н.Н .Лизалек, В.Ф .Тонышев</b> ВОЛНОВЫЕ УРАВНЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ЭНЕРГОСИСТЕМ.....	269
<b>Д.А .Зубанов, Д.С .Кудряшов, А.А .Руппель, А.А .Сидоренко, А.Е .Швецова</b> СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СРЕДСТВАМИ MATLAB.....	275
<b>Ш.К .Исмаилов, К.Ф .Трискус, Н.В .Есин, А.С .Талызин</b> ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ ТЭД В РЕЖИМЕ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОВОЗАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА .....	278
<b>Е.П .Зацепин, Ю.А .Шурыгин</b> ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ.....	282
<b>Ш.К .Исмаилов, О.В .Гателюк, В.В .Бублик, Е.И .Селиванов, О.Д .Юрасов</b> ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И РЕМОНТА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ.....	284
<b>Е.И .Селиванов</b> МЕТОДЫ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ И РЕМОНТЕ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОЛЮСОВ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗА.....	287
<b>Ю.М .Денчик, П.А .Дзюба, Д.А .Зубанов, В.И .Клеутин, А.А .Руппель, А.А .Сидоренко</b> СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕЗКОПЕРЕМЕННОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ПЛАВКРАНА КПЛ 667 НА КАЧЕСТВО НАПРЯЖЕНИЯ В БЕРЕГОВОЙ СЕТИ 0,4 кВ .....	291
<b>Б.А .Анохин</b> АНАЛИЗ РАСПОЛОЖЕНИЯ ФАЗ ДВУХЦЕПНОЙ ЛИНИИ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЙ В ФАЗНЫХ КООРДИНАТАХ .....	296
<b>У.К .Жалмагамбетова, А.Б .Жантлесова, М.Я .Клецель, П.Н .Майшев</b> ГЕРКОН КАК ФИЛЬТР ТОКА НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ .....	300
<b>А.И .Давыдов, М.М .Никифоров</b> ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ ПОЕЗДОВ.....	303
<b>А.В .Сериков, В.М .Кузьмин</b> РАСЧЁТ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВТОРИЧНОЙ ОБМОТКИ В НАГРЕВАТЕЛЬНОМ ЭЛЕМЕНТЕ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА .....	306
<b>Н.Я .Илюшов, Д.В .Вагин, С.Г .Назаров</b> КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТОЗАВИСИМОГО РЕЗИСТОРА РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ.....	310
<b>Ю.М .Денчик, Д.С .Кудряшов, В.Г .Сальников, Л.И .Сарин</b> ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ОБЪЕКТОВ ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТА ГАЗА .....	313

<b>Ю.М .Денчик, Д.С .Кудряшов, В.Г .Сальников, Д.А .Шкитов, Л.И .Сарин, И.Н .Дмитриев</b> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВРЕМЕНИ ВЫХОДА ДУГОГАСЯЩЕГО РЕАКТОРА С ПОДМАГНИЧИВАНИЕМ НА УСТАНОВИВШИЙСЯ РЕЖИМ КОМПЕНСАЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ.....	317
<b>Е.Н .Гусельникова, Н.А .Фальшина, А.С .Барсуков</b> О ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ.....	321
<b>А.Ф .Бурков</b> МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ .....	324
<b>А.Ф .Бурков, Н.Д .Крицкий</b> МЕТОДИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РАСЧЕТОВ КОНТАКТОРОВ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ БЕЗДУГОВОЙ КОММУТАЦИИ .....	328
<b>А.Ф .Бурков, С.Е .Кузнецов</b> АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СУДОВ .....	331
<b>В.З .Манусов, Ю.М .Денчик, Ю.М .Демидас, Д.С .Кудряшов</b> ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВИЗОРОВ .....	336
<b>Н.Н .Лизалек, А.Н .Ладнова, В.Ф .Тонышев, К.С .Мочалин, А.К .Жунусов</b> АНАЛИЗ СТРУКТУР ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССАХ .....	339
<b>Н.Н .Лизалек, А.Н .Ладнова, В.Ф .Тонышев, К.С .Мочалин, А.К .Жунусов</b> СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЯХ.....	344
<b>Ю.М .Денчик, Д.А .Шкитов, Л.И .Сарин, И.Н .Дмитриев</b> СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ СО СДВОЕННЫМ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИМ РЕАКТОРОМ И С ИЗОЛИРОВАННОЙ ИЛИ ЗАЗЕМЛЁННОЙ ЧЕРЕЗ РЕЗИСТОР НЕЙТРАЛЬЮ .....	352
<b>А.М .Ерита</b> СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ КАБЕЛЯ В ПОЛИМЕРНОМ ИЗОЛИРУЮЩЕМ ПОКРЫТИИ С ПОВРЕЖДЕНИЕМ.....	357
<b>В.В .Миханошин</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ АВТОНОМНОСТИ ПЛАВАНИЯ ДИЗЕЛЬ-АККУМУЛЯТОРНОГО СУДНА.....	360

## ЭКОЛОГИЯ

<b>А.Л .Новоселов, А.А .Новоселов, Г.В .Медведев, Д.С .Печенникова</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТВОРА СОЛИ ЦЕРИЯ ПРИ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ .....	364
<b>Е.А .Полищук, Е.Н .Егорова</b> СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМ РИСКОМ .....	366
<b>В.П .Босяков, В.А .Романов, В.С .Кукис</b> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ .....	370
<b>О.В .Спиренкова, Т.В .Носкова, Т.С .Папина</b> ПРОБЛЕМА ОБРАЗОВАНИЯ ХЛОРФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ (НА ПРИМЕРЕ г .НОВОСИБИРСКА).....	372
<b>М.Ю .Сидорова</b> ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ НА СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, НА ПРИМЕРЕ г .НОВОСИБИРСКА.....	376

**Уважаемые коллеги!**

Редакция журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока», приглашает Вас опубликовать результаты Ваших научных исследований в №2 журнала за 2011 год. Материалы (заявку, статью, рецензию) просим высылать ответственному секретарю журнала Коновалову В.В. по электронной почте: [konvalov@nsawt.ru](mailto:konvalov@nsawt.ru). Оригиналы по почте на адрес Академии с пометкой для Коновалова В.В. Прием материалов в очередной номер журнала заканчивается 25 октября 2011 г.

**Заявка на публикацию научной статьи в №2 журнала за 2011 год**

	<b>на русском языке</b>	<b>на английском языке</b>
Название статьи		
Аннотация (150-200 символов)		
Ключевые слова (не более 10 слов)		
Организация (полное юридическое название и адрес)		
Автор(ы) (ФИО полностью, ученая степень, ученое звание, должность, мобильный телефон*)		
Адрес электронной почты (для обратной связи)		

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

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

Дата

Подпись(и)

**Требования к представлению материалов:**

- 1 Статья 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.
- 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 15×15 см; глубина цвета – оттенки серого.
- 5 Ширина таблиц не более 15 см.
- 6 Все математические формулы и выражения должны быть набраны в специальном редакторе формул (Mathtype 6), шрифт Arial.
- 7 Ссылки на литературу выполняются сквозной нумерацией арабскими цифрами, в квадратных скобках в порядке указания. На каждый указанный в списке источник, 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

Ответственный за выпуск – Коновалов В.В.

Подписано в печать 24.06.2011 г. с оригинал-макета  
Бумага офсетная №1, формат 60x84 1/8, печать трафаретная – Riso.  
Усл. печ. л. 44,9; тираж 350 экз. Заказ №  
Цена договорная.

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта» (ФГОУ ВПО «НГАВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, тел. (383)222-64-68, факс (383)222-49-76

Отпечатано в издательстве ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ISSN 2071-3827

Почтовый индекс 62390